

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE ALEXANDRINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO
EM GUERRA ELETRÔNICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EMPREGO DE RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE COMO MAGE-COM EM
VEÍCULOS DE SUPERFÍCIE NÃO TRIPULADOS.



PRIMEIRO-TENENTE DANIEL SCORZELLO LOPES

Rio de Janeiro
2025

PRIMEIRO-TENENTE DANIEL SCORZELLO LOPES

Emprego de Rádio Definido por Software como MAGE-COM em Veículos de
Superfície Não Tripulados.

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Alexandrino como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado
em Guerra Eletrônica

Orientadores:

CC Paulo Victor Gonçalves Sampaio

CT Arthur Pinheiro de Araújo Costa

Rio de Janeiro
2025

FOLHA DE APROVAÇÃO

PRIMEIRO-TENENTE DANIEL SCORZELLO LOPES

Emprego de Rádio Definido por Software como MAGE-COM em Veículos de
Superfície Não Tripulados.

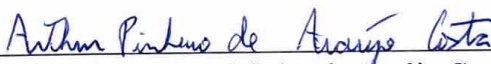
Primeiro-Tenente Daniel Scorzello Lopes

MONOGRAFIA APRESENTADA AO CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE
ALEXANDRINO COMO REQUISITO PARCIAL À CONCLUSÃO DO CURSO DE
APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM GUERRA ELETRÔNICA

Aprovada por:



CC Paulo Victor Gonçalves Sampaio, M. Sc. (CGAEM)



CT Arthur Pinheiro de Araújo Costa, M.Sc. (CIAA)



CT (EN) Victor Bastos Rodrigues, M.Sc. (CIAA)



Prof. Marco Antônio Grivet Mattoso Maia, D.Sc. (PUC-Rio)

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
OUTUBRO DE 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Scorzello Lopes, Daniel
Emprego de Rádio Definido por Software como MAGE-COM
em Veículos de Superfície Não Tripulados.
da Marinha do Brasil. – Rio de Janeiro: MB/CIAA, 2025.
XIV, 60 p.: il.; 29,7 cm.
Orientadores: Paulo Victor Gonçalves Sampaio e Arthur
Pinheiro de Araújo Costa.
Trabalho de Conclusão de Curso – MB/CIAA/Curso de
Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica, 2025.
Referências Bibliográficas: p. 60 - 63.
1. Rádio Definido por Software. 2. Medidas de Apoio à
Guerra Eletrônica de Comunicações. 3. Veículos de
Superfície Não Tripulados. I. Victor Gonçalves Sampaio,
Paulo. II. Marinha do Brasil, CIAA, Curso de
Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica. III. Título

Dedico este trabalho à minha noiva, pelo amor, carinho e apoio diário, aos meus pais e minha irmã pelo apoio em toda minha jornada na Marinha, e à Deus, por me proporcionar saúde e motivação diária.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por ter me concedido saúde e sabedoria para dedicar-me diariamente, ao longo de todo o ano, no Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais em Guerra Eletrônica (CApA-GE), a fim de alcançar meus objetivos profissionais e pessoais.

Em segundo lugar, à minha noiva Agatha Mello de Pinho, que durante este curso apoiou-me em todas as etapas, enfrentando todos os momentos de dificuldades ao meu lado com amor e carinho. Tenho certeza de que você foi extremamente importante para que eu lograsse êxito nesse árduo ano letivo.

Aos meus pais, Cláudia da Costa Scorzello Lopes e Marcelo Enrico Lopes, e minha irmã, Tássia Scorzello Lopes, por sempre estarem presentes em minha formação, tanto profissional quanto pessoal. Sem vocês, jamais me tornaria o homem que sou hoje e espero que um dia eu possa retribuir todo o suporte e amor a mim dados.

Aos meus orientadores, Capitão de Corveta Paulo Victor Gonçalves Sampaio e Capitão-Tenente Arthur Pinheiro de Araújo Costa pelo apoio, confiança e ensinamentos passados, fruto do vasto conhecimento teórico de ambos no tema abordado neste trabalho. Agradeço o tempo empregado para conversas e reuniões sobre o tema proposto, além das orientações e análises acerca do trabalho ao longo de todo ano. Certamente, o sucesso deste trabalho passa pelo tempo dedicado pelos senhores.

Aos coordenadores do CApA, em especial ao CT Ogioni, coordenador do curso de Guerra Eletrônica, pelo apoio e confiança no meu trabalho. Aos professores e instrutores do CIAA e da PUC-RIO, em especial aos professores Marco Grivet e Carlos Rodriguez Ron, pelas aulas ministradas e pelo apoio teórico sobre o tema abordado. Agradeço ao professor Marco Grivet por ter abdicado seu tempo e aceitado compor a banca deste trabalho.

Por fim, aos caros amigos da turma, principalmente aos integrantes do CApA-GE, pelo auxílio e pelo convívio harmonioso ao longo desses nove meses abordo desse centro de instrução.

RESUMO

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao CIAA/MB como requisito parcial para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado para Oficiais da Armada

Emprego de Rádio Definido por Software como MAGE-COM em Veículos de Superfície Não Tripulados.

Daniel Scorzello Lopes

Outubro/2025

Orientador(es): CC Paulo Victor Gonçalves Sampaio e CT Arthur Pinheiro de Araújo Costa

Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica

A crescente evolução tecnológica no ambiente naval tem impulsionado o emprego de Veículos de Superfície Não Tripulados (USV) como alternativa para operações de patrulha e vigilância marítima. Paralelamente, os Rádios Definidos por Software (RDS) surgem como uma solução de baixo custo e elevada flexibilidade para interceptação de comunicações. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é avaliar a aplicação do RDS como equipamento de Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica de Comunicações (MAGE-COM) em USV, por meio de medições reais conduzidas na Baía de Guanabara com o receptor RTL-SDR V3 e posterior comparação com modelos teóricos de propagação em *Very High Frequency* (VHF), utilizando o *software* MATLAB, a fim de incrementar a parte prática deste projeto. Os resultados permitiram estimar o alcance de recepção dos sinais e projetar possíveis áreas de patrulha de USV em regiões estratégicas, como a foz do rio Amazonas, o Porto de Santos e o Porto do Rio de Janeiro. Conclui-se que, mesmo com limitações técnicas do equipamento utilizado, o RDS apresenta potencial para incrementar a capacidade de vigilância marítima, contribuindo para a soberania nacional.

Palavras-chave: Rádio Definido por Software; Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica de Comunicações; Veículos de Superfície Não Tripulados; Vigilância Marítima; Propagação em VHF.

ABSTRACT

Abstract of the Undergraduate Final Work presented to CIAA/MB as a partial fulfillment of the requirements for the conclusion of the Advanced Improvement Course for Navy Officers

Employment of Software-Defined Radio as MAGE-COM in Unmanned Surface Vehicles.

Daniel Scorzello Lopes

October/2025

Advisor(s): CC Paulo Victor Gonçalves Sampaio e CT Arthur Pinheiro de Araújo Costa

Advanced Improvement Course in Electronic Warfare

The growing technological evolution in the naval environment has driven the use of Unmanned Surface Vehicles (USV) as an alternative for maritime patrol and surveillance operations. At the same time, Software-Defined Radios (SDR) have emerged as a low-cost and highly flexible solution for communications interception. In this context, the objective of this research is to evaluate the application of SDR as equipment for Communications Electronic Warfare Support Measures (ESM-COM) in USV, through actual measurements conducted in Guanabara Bay with the RTL-SDR V3 receiver and subsequent comparison with theoretical Very High Frequency (VHF) propagation models using MATLAB software, in order to enhance the practical aspect of this project. The results allowed us to estimate the reception range of the signals and design possible USV patrol areas in strategic regions, such as the mouth of the Amazon River, the Port of Santos, and the Port of Rio de Janeiro. We conclude that, even with the technical limitations of the equipment used, RDS has the potential to increase maritime surveillance capabilities, contributing to national sovereignty.

Keywords: Software-Defined Radio; Communications Electronic Warfare Support Measures; Unmanned Surface Vehicles; Maritime Surveillance; VHF Propagation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Bandas do espectro de Rádio Frequência (RF)	9
Figura 2	–	Fenômenos durante a propagação de ondas eletromagnéticas.....	9
Figura 3	–	Propagação de ondas eletromagnéticas no mar.....	10
Figura 4	–	Elementos considerados para cálculo de Perdas de Percurso.....	12
Figura 5	–	Linha de Visada (LoS) sobre a superfície do mar.....	13
Figura 6	–	Modelo de Dois Raios.....	14
Figura 7	–	Aplicações dos USV.....	17
Figura 8	–	USV MARSEC.....	19
Figura 9	–	Lancha URCA-III adaptada como USV.....	20
Figura 10	–	Protótipo do USV Supressor 7.....	21
Figura 11	–	RDS ideal.....	22
Figura 12	–	RDS real para implementação.....	24
Figura 13	–	RDS DEFESA.....	26
Figura 14	–	Distância entre AMRJ e BACS.....	32
Figura 15	–	Corveta Barroso.....	33
Figura 16	–	Sistema de recepção usando RDS.....	34
Figura 17	–	Tela inicial do software SDR++.....	35
Figura 18	–	Gráfico da Perda de Percurso em 4.117 metros.....	37
Figura 19	–	Gráfico da Potência Recebida em 4.117 metros.....	38
Figura 20	–	Cálculo do alcance máximo de comunicações.....	39
Figura 21	–	Possíveis áreas de patrulha na foz do rio Amazonas.....	41
Figura 22	–	Possível área de patrulha no porto de Santos.....	42
Figura 23	–	Possível área de patrulha na baía de Guanabara.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do RTL-SDR 3V.....	28
Tabela 2 – Parâmetros dos equipamentos usados.....	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
AMRJ	Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BACS	Base Almirante Castro e Silva
BID	Base Industrial de Defesa
CASNAV	Centro de Análise de Sistemas Navais
CGAEM	Centro de Guerra Acústica e Eletrônica da Marinha
COMINT	<i>Communications Intelligence</i>
DARPA	<i>Defense Advance Research Products Agency</i>
DSAM	Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha
dB	<i>Decibel</i>
dBm	<i>Decibel-miliwatt</i>
EEM	Espectro Eletromagnético
ELINT	<i>Electronic Intelligence</i>
EMGEPRON	Empresa Gerencial de Projetos Navais
END	Estratégia Nacional de Defesa
ESSOR	<i>European Secure Software Defined Radio</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
GE	Guerra Eletrônica
HF	<i>High Frequency</i>
ISR	<i>Intelligence, Surveillance and Reconnaissance</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
JTRS	<i>Join Tactical Radio System</i>
LoS	<i>Line of Sight</i>

MAE	Medidas de Ataque Eletrônico
MAE-COM	Medidas de Ataque Eletrônico de Comunicações
MAGE	Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica
MAGE-COM	Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica de Comunicações
MD	Ministério da Defesa
MDLP	<i>Multi Data Link Processor</i>
MN	Milha Náutica
MPE	Medidas de Proteção Eletrônica
MPE-COM	Medidas de Proteção Eletrônica de Comunicações
OMOT	Organização Militar Orientadora Técnica
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PND	Política Nacional de Defesa
PMN	Política Marítima Nacional
RDS	Rádio Definido por Software
RF	Rádio Frequência
SIGINT	<i>Signals Intelligence</i>
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
USV	<i>Unmanned Surface Vehicle</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VLF	<i>Very Low Frequency</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação do Problema.....	3
1.2. Justificativa e Relevância.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo Geral	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4. Etapas do Trabalho	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1. Guerra Eletrônica.....	6
2.1.1. Propagação de Ondas Eletromagnéticas	8
2.1.2. Fenômenos Durante a Propagação	9
2.1.3. Modelos de Propagação	11
2.1.3.1. Modelo de Perda de Percurso no Espaço Livre.....	12
2.1.3.2. Modelo de Dois Raios	14
2.1.4. Horizonte Rádio	15
2.1.5. Relação Sinal-Ruído.....	16
2.2. Veículos de Superfície Não Tripulados (USV).....	16
2.2.1. Contexto Histórico	18
2.2.2. Aplicações Atuais dos USV	18
2.3. Rádio Definido por Software.....	21
2.3.1. Contexto Histórico	21
2.3.2. O Rádio Definido por Software Ideal e Real	22
2.3.3. Desenvolvimento de RDS no Âmbito Militar Global.....	24
2.3.4. Vantagens e Desvantagens dos RDS.....	26
2.3.5. Modelo de RDS Escolhido para Medições	27
2.4. Políticas Nacionais Sobre Ações Marítimas	28
2.4.1. Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa	28
2.4.2. Política Marítima Nacional	29
3. METODOLOGIA.....	30
3.1. Classificação Quanto aos Fins	30
3.2. Classificação Quanto aos Meios	31

3.3. Limitações do Método	31
3.4. Coleta e Tratamento de Dados	31
4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	32
4.1. Descrição do Contexto de Medição	32
4.2. Discussão dos Resultados Obtidos	35
4.2.1. Componentes das Estações Transmissora e Receptora	36
4.2.2. Resultado e Comparação dos Modelos de Propagação.....	36
4.3. Estimação de Áreas de Patrulha de USV	40
4.3.1. Foz do rio Amazonas	41
4.3.2. Proximidades do Porto de Santos.....	42
4.3.3. Proximidades do Porto do Rio de Janeiro	43
5. CONCLUSÃO	43
5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O conceito de Guerra Eletrônica (GE), conforme compreendido atualmente, fundamenta-se nas pesquisas desenvolvidas por James Clerk Maxwell no século XIX. Considerado o pioneiro da física matemática, Maxwell foi responsável por descrever, por meio de equações, os fenômenos elétricos e magnéticos que formam a base do eletromagnetismo e das ondas, conhecidas como equações de Maxwell (Brasil, 2023a).

O primeiro relato histórico da aplicação de técnicas de GE, segundo Brasil (2023a), ocorreu na Batalha Naval de Tsushima, durante a Guerra Russo-Japonesa, no início do século XX. Navios russos, operando em silêncio de rádio nas proximidades da Ilha de Tsushima, interceptaram mensagens entre navios de patrulha japoneses que reportavam a localização da esquadra soviética. Embora ações não tenham sido tomadas, devido ao não rompimento do silêncio para transmissão de mensagens por parte dos soviéticos, este episódio é reconhecido como a primeira execução de ações de GE, no que tange às Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE).

Conflitos subsequentes exploraram ainda mais as capacidades da GE. Durante a Primeira e Segunda Guerras Mundiais, foram utilizadas técnicas eficazes de MAGE, além das primeiras ações de Medidas de Ataque Eletrônico (MAE), visando interferir na comunicação inimiga, e de Medidas de Proteção Eletrônica (MPE), para mitigar os ataques oponentes (Brasil, 2023a).

Em contextos de conflitos contemporâneos, como no caso da guerra entre a Rússia e a Ucrânia, observa-se uma significativa evolução dos recursos de GE. Diante disso, ambas as nações em conflito têm empregado drones aéreos guiados por cabos de fibra óptica, a fim de conduzir ataques contra instalações adversárias, tornando-os imunes a interferências ou bloqueios eletromagnéticos (Altman, 2025). Exemplos de evolução na GE, como o mencionado, demonstram que as grandes potências mundiais buscam evolução constante em soluções tecnológicas alternativas, a fim de adequarem ao cenário atual.

A evolução tecnológica não se restringiu ao campo da GE, manifestando-se também na área marítima. A evolução dos meios navais de patrulha e de guerra estão tornando os navios cada vez mais adaptados à realidade do cenário global conflituoso atual, levando em consideração a tecnologia para sua produção e os recursos tecnológicos embarcados, que necessitam de constante atualização. Nesse contexto, o desenvolvimento dos Veículos de Superfície Não Tripulados, ou *Unmanned Surface Vessels* (USV), tem sido impulsionado pelo aumento global do interesse em diversas atividades em mares

abertos e águas interiores, incluindo operações militares, como pode ser observado também no conflito entre Rússia e Ucrânia (Cheetham, 2023).

A fim de tornar possível a aplicação militar de USV, é mandatório que haja, além de tecnologia que forneça meios de controle e governo da embarcação, equipamentos embarcados de forma suficiente para que possam ser realizadas as operações antes realizadas por embarcações com tripulações. Algumas empresas, como a Tide Wise, fabricam USV versáteis, que podem ser aplicados em diferentes ocasiões, como Guerra Antissubmarino, Guerra de Minas e patrulhamento de áreas marítimas (Bursztein, 2025).

A aplicação dos USV para fins de patrulhamento e segurança marítima é realizada por outras Marinhas ao redor do mundo. A Marinha da República de Singapura utiliza, desde 2021, os USV MARSEC para auxiliar no patrulhamento e proteção do Estreito de Singapura, que possui o tráfego marítimo de, aproximadamente, mil embarcações por dia. Uma vez que os USV são capazes de realizar patrulhas e interceptar embarcações suspeitas com grande autonomia, permite-se a utilização de navios de guerra maiores e tripulados de forma mais estratégica ou quando os contatos hostis estiverem fora do alcance de utilização dos USV (Arthur, 2025). Essa utilização mais criteriosa dos navios de guerra resulta em uma economia geral de recursos, como manutenção e pagamento de pessoal.

Visando aprimorar o patrulhamento no mar aberto e águas interiores e obter uma vantagem estratégica em termos de consciência situacional na área de atuação, é relevante a utilização de equipamentos que realizem a função de MAGE de comunicações. A coleta passiva das comunicações inimigas pode auxiliar a reconhecer as intenções hostis, permitir a geração de um banco de dados de sinais de comunicações com alto valor estratégico, possibilitando antecipar ações e identificar e localizar os alvos (Poisel, 2002).

Nesse sentido, o Rádio Definido por Software (RDS) é um equipamento que pode ser utilizado para coletar informações de comunicações. Ele é capaz de realizar o monitoramento e gravação de ampla faixa de frequências, incluindo aquelas utilizadas no ambiente marítimo, com um baixo custo de investimento e dimensões reduzidas. O RDS permite a alteração de parâmetros via software, eliminando a necessidade de troca de componentes para reconfiguração (Janson, 2012). Essas características possibilitam a utilização do RDS como ferramenta de MAGE eficaz para obtenção de sinais de comunicações inimigas, contribuindo para a vigilância marítima.

1.1. Apresentação do Problema

Diante da evolução histórica da GE, torna-se de extrema importância o entendimento de novas tecnologias visando o patrulhamento do litoral brasileiro, com intuito de combater ilícitos nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). Logo, é necessário o estudo de novas formas de realizar o patrulhamento de áreas de interesse na costa brasileira visando a redução de custos provenientes da utilização de meios navais tripulados, por meio de embarcações dotadas de equipamentos capazes de realizar o monitoramento das comunicações nas frequências desejadas.

A partir dessa problemática, foi motivada a pesquisa de alternativas de se realizar a patrulha ao longo de portos e áreas de interesses nacionais por meio de embarcações que possuam um custo reduzido de operação, culminando nos USV.

Visando o emprego dos USV para cumprimento dos objetivos de um navio de patrulha e para assegurar a soberania nacional, esses veículos devem ser dotados de equipamentos que possam efetivamente monitorar as comunicações de embarcações suspeitas. Para atender à essa necessidade, será verificada a viabilidade da utilização de RDS aplicado para fins de MAGE de comunicações (MAGE-COM) nas frequências de *Very High Frequency* (VHF). A escolha do RDS para esse fim se dá devido ao baixo custo e facilidade de aquisição do equipamento.

Para verificação da viabilidade do uso do RDS como equipamento de MAGE-COM, será realizada uma simulação com a utilização de um RDS e um transceptor na baía de Guanabara, que visa verificar a funcionalidade do RDS como equipamento MAGE e analisar o alcance na recepção dos sinais. Após essa análise, será realizada a predição do alcance para outros locais relevantes de patrulhamento da Marinha do Brasil, podendo estabelecer regiões de patrulha dos USV baseados no alcance de seus equipamentos de MAGE-COM embarcados.

Embora a escolha do RDS seja devido ao seu custo reduzido e sua possibilidade de alteração de parâmetros de operação via software, o teste é relevante para fins de análise de desempenho do equipamento. Caso seja relevante o seu alcance, torna-se interessante a aquisição e testes com RDS mais robustos, que possam desempenhar melhor do que o RDS escolhido para este trabalho.

Pretende-se, a partir deste trabalho, contribuir para o debate e o estudo da aplicação da tecnologia dos USV, dotados de RDS, para cumprir as tarefas básicas do Poder Naval relacionadas ao controle da área marítima e negação do uso do mar, por meio

do patrulhamento de áreas sensíveis da Amazônia Azul sem a necessidade da utilização inicial de meios navais tripulados.

1.2. Justificativa e Relevância

A relevância deste trabalho é justificada pela análise do desempenho do RDS embarcado em USV para sua aplicação como MAGE-COM, a fim de determinar seu alcance estimado para áreas marítimas nacionais mais sensíveis, de acordo com a Estratégia Nacional de Defesa (END). Pretende-se, ainda, apresentar possibilidades de utilização de USV nas áreas de patrulha, a fim de auxiliarem no patrulhamento estabelecido com a maior eficiência possível.

Esta pesquisa deseja analisar a aplicação do RDS como uma solução de custo-benefício positiva (Plessis, 2013), considerando a flexibilidade proporcionada pelas atualizações via software dos seus parâmetros de funcionamento e o custo reduzido em comparação a equipamentos de comunicações robustos tradicionais. Essa abordagem permite a implementação em plataformas de menor porte, tendo em vista sua configuração com menor quantidade de hardware, como os USV. Esse recurso amplia as capacidades de patrulha e interceptação de comunicações hostis ou ilícitas em áreas portuárias estratégicas, ampliando sua área de atuação.

A aplicação dos USV para patrulhamento também possui relevância, uma vez que pode proporcionar o aumento da eficiência no patrulhamento e segurança de portos nacionais com custo reduzido, reforçando a segurança contra ameaças como pirataria, contrabando e comunicações hostis (Rowley, 2018). A aplicação de USV equipados com RDS pode representar uma solução moderna e economicamente viável, podendo ser utilizado em projetos nacionais, como, por exemplo, no USV Suppressor, desenvolvido pela empresa Emgepron, vinculada à Marinha do Brasil, fortalecendo a Base Industrial de Defesa (BID).

1.3. Objetivos

A seguir serão apresentados os objetivos deste trabalho.

1.3.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho do RDS escolhido para sua aplicação como MAGE-COM em USV, por meio da utilização efetiva de um RDS para interceptar sinais em VHF

transmitidos por uma unidade transmissora fixa, localizada nas proximidades da baía de Guanabara, a fim de aplicá-lo em operações de patrulha marítima.

1.3.2. Objetivos Específicos

Este trabalho possui como objetivos específicos:

- a) Revisar conceitos de Guerra Eletrônica, com ênfase em MAGE-COM;
- b) Apresentar conceitos e modelos de Propagação de Ondas Eletromagnéticas;
- c) Descrever as características e aplicações atuais dos USV;
- d) Apresentar as características técnicas dos RDS e suas vantagens e desvantagens;
- e) Realizar medições reais, utilizando um RDS, e compará-las com modelos de propagação, a fim de permitir a análise do alcance máximo de comunicações em VHF; e
- f) Estimar a predição do alcance para as áreas marítimas previstas na END e sugerir áreas de patrulha dos USV que atendam aos parâmetros.

1.4. Etapas do Trabalho

O Capítulo 1 introduz o tema central do estudo, contextualizando a importância da utilização de RDS embarcados em USV. São apresentados o problema de pesquisa, a justificativa e a relevância, os objetivos gerais e específicos, além de sua relevância estratégica no âmbito da defesa nas AJB.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico que sustenta o trabalho. São abordados os conceitos de Guerra Eletrônica, propagação de ondas eletromagnéticas, histórico e aplicações de USV, fundamentos dos RDS e seu desenvolvimento no contexto militar. Também são discutidas políticas nacionais relacionadas à segurança marítima, a fim de contextualizar o trabalho com pautas do âmbito naval.

O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada. A pesquisa é classificada quanto aos fins e quanto aos meios. São detalhadas as limitações do método, bem como os procedimentos de coleta e tratamento de dados obtidos durante as medições reais, processados com auxílio do *software* MATLAB.

O Capítulo 4 apresenta a descrição e análise dos resultados. Primeiramente, é contextualizado o cenário das medições realizadas na baía de Guanabara. Em seguida, são detalhados os equipamentos utilizados, os parâmetros técnicos adotados, os resultados obtidos nas medições e a comparação com modelos teóricos de propagação. A partir

desses dados, são estimadas áreas de patrulha para USV em locais estratégicos, como a foz do rio Amazonas, Porto de Santos e Porto do Rio de Janeiro.

O Capítulo 5, por fim, consolida os resultados da pesquisa e apresenta as conclusões. Adicionalmente, também são sugeridas diretrizes para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados conceitos teóricos relevantes e que norteiam a elaboração do referido trabalho.

2.1. Guerra Eletrônica

De acordo com o Glossário das Forças Armadas, documento expedido pelo Ministério da Defesa que tem como objetivo uniformizar definições de termos usados pelas três Forças Armadas, o conceito de Guerra Eletrônica é definido como:

Conjunto de ações que visam explorar as emissões do inimigo, em toda a faixa do espectro eletromagnético, com a finalidade de conhecer a sua ordem de batalha, intenções e capacidades, e, também, utilizar medidas adequadas para negar o uso efetivo dos seus sistemas, enquanto se protege e utiliza, com eficácia, os próprios sistemas (Brasil, 2015, p.135).

Devido à importância do espectro eletromagnético (EEM) em conflitos, o estudo e o desenvolvimento de técnicas para seu uso tornaram-se essenciais. Tais técnicas são aplicadas em favor das próprias forças, a fim de se obter algum tipo de vantagem tática, como proteção, efetivo ataque, ou negação / degradação do uso do EEM pelo oponente.

A GE, vista na perspectiva do modo em que o EEM é utilizado, pode ser dividida em duas formas, GE Ativa e Passiva. A GE Ativa se refere às medidas tomadas no âmbito da GE em que haja a necessidade de ocorrer uma emissão eletromagnética, uma vez que a GE Passiva consiste nas medidas que visam captar a energia eletromagnética, não havendo emissões (Brasil, 2015).

Segundo Poisel (2002), é amplamente aceito que a GE seja dividida em três componentes: MAGE, MAE e MPE. Esses componentes são aplicados a partir da utilização do EEM, sejam elas contra transmissões de radares ou equipamentos de comunicações, por exemplo, ou para garantir seu efetivo uso do EEM. Visando a atuação em sistemas de comunicações, tais medidas são classificadas como MAGE-COM, MAE de Comunicações (MAE-COM) e MPE de Comunicações (MPE-COM).

As MAGE-COM são ações com a intenção de coletar informações de forma não cooperativa sobre um adversário, por meio da interceptação de emissões de

radiofrequência (RF) oriundas de sistemas de comunicações. As informações obtidas podem ser utilizadas para fins de inteligência, por meio de uma análise detalhada dos dados internos do sinal, ou para fins táticos, que se baseiam em uma análise imediata dos dados aparentes para um uso rápido em operações de combate (Poisel, 2002).

O objetivo das MAGE-COM é interceptar as comunicações com a finalidade de localizar sistemas transmissores e retransmissores de rádio, além de detectar e decodificar as mensagens inimigas. A partir do conhecimento das intenções rivais, pode-se adotar ações adequadas visando proteção e ataque eletrônico no âmbito das comunicações (Neri, 2018).

As MAE-COM possuem como propósito a geração de sinais de ruído, ou interferência, a fim de bloquear os receptores de sistemas de telecomunicações inimigos, tornando as mensagens ininteligíveis por meio de ações como, por exemplo, de bloqueios e despistamentos eletrônicos (Neri, 2018). Tais bloqueios podem ser feitos em frequências específicas ou em uma grande faixa de frequências, a depender da missão e da capacidade do equipamento MAE.

As MPE-COM são ações empreendidas para negar a disponibilidade e proteger as informações das forças amigas contra manipulações ou bloqueios realizadas por adversários (Poisel, 2002), garantindo, assim, o uso efetivo do EEM para as comunicações pelas forças amigas.

Embora a função das MAGE seja garantir uma consciência situacional no combate a fim de subsidiar a melhor tomada de decisão, as informações obtidas pelos equipamentos que utilizam tais técnicas de apoio à GE podem incrementar o banco de dados de inteligência de uma força, a partir de uma análise posterior detalhada do conteúdo dos sinais captados. A utilização dos sinais para fins estratégicos de inteligência é denominada Inteligência de Sinais (SIGINT) (Poisel, 2002).

De acordo com Neri (2018), a SIGINT visa a aquisição da maior quantidade possível de dados sobre as emissões eletromagnéticas de uma fonte emissora de interesse, sendo dividida em Inteligência Eletrônica (ELINT), que coletam dados de emissão de radar, e Inteligência de Comunicações (COMINT), que coletam dados de comunicação de interesse.

De forma mais aprofundada, a COMINT pode ser definida como conjunto de técnicas aplicadas a fim de detectar e localizar a emissão, realizar trabalhos de criptoanálise, analisar o texto da mensagem e o tráfego de comunicações, preocupando-se com o conteúdo das emissões (Brasil, 2015).

Logo, entende-se que a reação às informações obtidas que visam aplicações de MAGE-COM é imediata, para fins táticos, ao passo que os parâmetros voltados para SIGINT/COMINT são usados, com objetivo estratégico, para formulação de banco de dados de inteligência, necessitando análise de campo posterior. Além das informações que podem ser usadas posteriormente em futuras operações, segundo Brasil (2015), a obtenção e o processamento das informações obtidas sobre a capacidade de GE do inimigo subsidiam a avaliação e possível reformulação da própria capacidade de GE da força.

2.1.1. Propagação de Ondas Eletromagnéticas

O espectro eletromagnético é uma gama de frequências de radiação eletromagnética que abrange desde ondas de rádio de baixa frequência até raios gama de alta frequência. Para o uso em comunicações, a União Internacional de Telecomunicações, ou *International Telecommunication Union* (ITU), é a responsável por gerir e dividir esse espectro em faixas de frequências (Brasil, 2002). Essa divisão é fundamental para evitar interferências entre diferentes serviços de comunicação, como rádio, televisão, telefonia móvel e satélites. As faixas de frequências são categorizadas por letras e nomes, facilitando o gerenciamento em nível mundial.

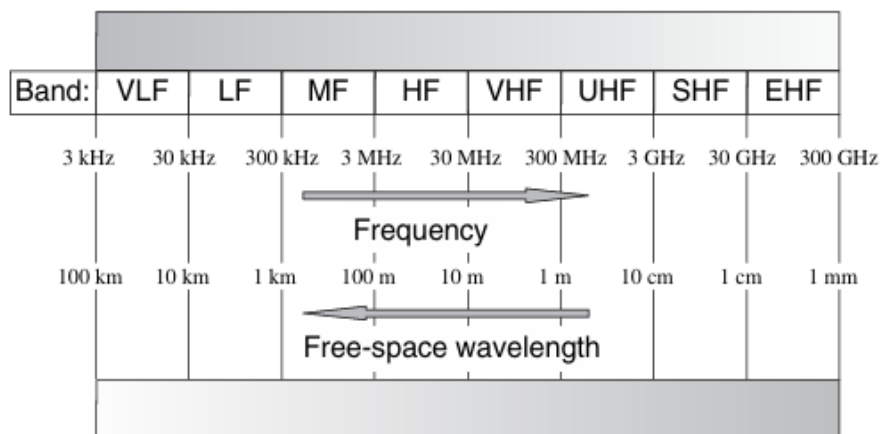
No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) atua como o órgão regulador responsável por adotar e implementar as diretrizes da ITU. A ANATEL realiza a gestão do espectro de Rádio Frequência (RF) no território brasileiro, concedendo licenças e permissões de uso de frequências para diversas finalidades (Brasil, 2002). A agência se baseia nas divisões da ITU para organizar e fiscalizar o uso do espectro, assegurando que as comunicações no país operem de forma ordenada e segura.

As comunicações em RF, na prática, ocorrem em frequências que vão de cerca de 3 KHz a 300 GHz, o que corresponde a comprimentos de onda no espaço livre de 100 km a 1 mm (Saunders, 2007). Nas comunicações a bordo dos navios, as frequências mais utilizadas são as *High Frequency* (HF), para distâncias além do horizonte visual, VHF e *Ultra High Frequency* (UHF), que são adotadas com navios mais próximos, com linha de visada direta.

Porém, a faixa de frequências mais utilizada para comunicações entre navios no mar é a VHF. A utilização de rádio transceptor VHF é mandatória a bordo de embarcações de pequeno e médio porte em águas interiores e na costa, utilizado para realização de chamadas de socorro, disseminação de informações meteorológicas e verificação de

tráfego (Cavalcante, 2023). A figura 1 apresenta as frequências do espectro de RF e as respectivas faixas de frequências.

Figura 1 – Bandas do espectro de Rádio Frequência (RF).

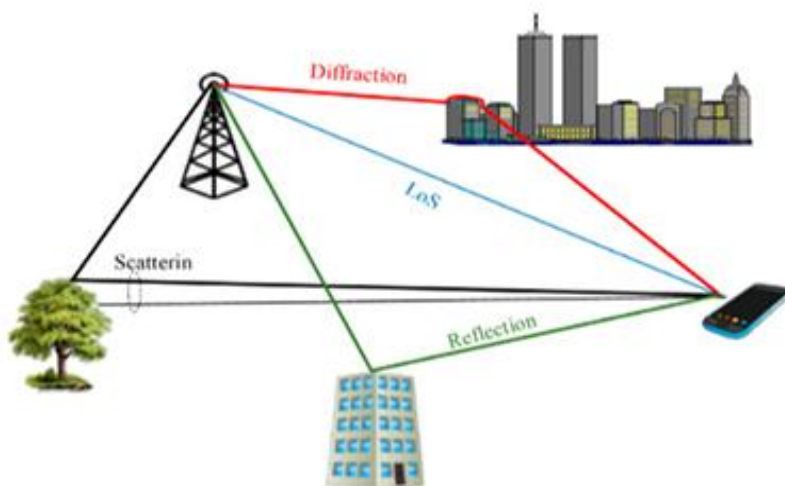


Fonte: Saunders (2007).

2.1.2. Fenômenos Durante a Propagação

Para verificação do desempenho das comunicações, deve-se levar em consideração a natureza aleatória que caracteriza o canal de propagação e o seu entendimento. Essa aleatoriedade ocorre devido às perdas que ocorrem entre a transmissão e a recepção do sinal, que podem ser caracterizadas pelos processos de reflexão, dispersão e difração, sendo chamadas de Perdas por Percurso (Rappaport, 2002). A figura 2 ilustra os fenômenos durante a transmissão.

Figura 2 – Fenômenos durante a propagação de ondas eletromagnéticas.



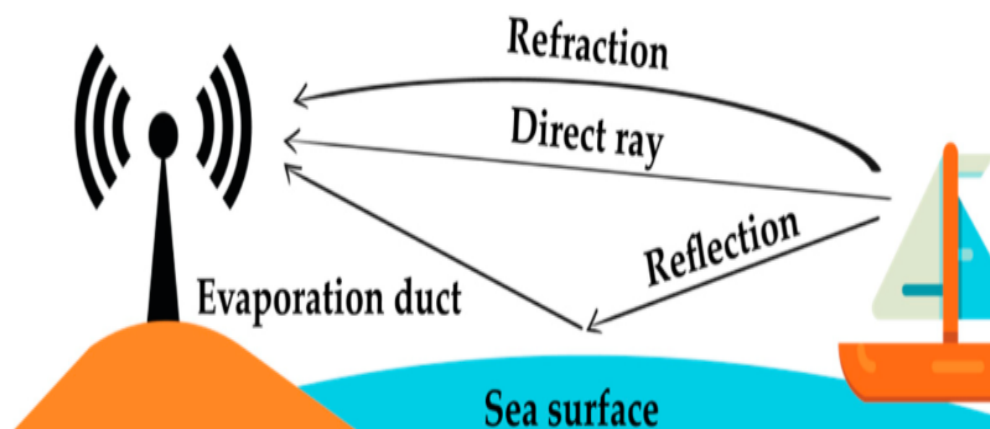
Fonte: Erunkulu (2020).

A reflexão ocorre quando a parcela da onda eletromagnética que reflete em uma interface causa alteração na intensidade do sinal recebido pela antena receptora. Essa onda refletida de intensidade alterada chega ao destinatário em um momento diferente e com alteração de fase, em comparação ao sinal original transmitido, o que pode causar um aumento ou uma diminuição na resultante do sinal recebido. A propagação que faz com que os sinais de rádio se disseminem por dois ou mais caminhos em direção a antena receptora é conhecida como propagação por multipercurso, podendo ser causado também pela presença de dutos atmosféricos (Habib; Moh, 2019).

Já a dispersão ocorre quando o sinal, em contato com uma superfície irregular ou áspera, é espalhado em diversos ângulos de forma aleatória, sendo redirecionado para longe da direção inicial de propagação. Por sua vez, a difração acontece quando as ondas eletromagnéticas geram novas frentes de ondas ao passarem por obstáculos com estruturas afiadas ou aberturas (Erunkulu, 2020).

As comunicações entre navios na superfície do mar possuem características diferentes de comunicações urbanas. Isso ocorre devido ao ambiente marinho estar mais sujeito a fenômenos de refração, que é a mudança na direção e na velocidade da onda quando passa de um meio para outro. Além disso, a presença de dutos de evaporação também altera a direção das ondas de rádio. Há, ainda, a reflexão causada pela incidência das ondas de RF sobre a superfície do mar (Habib; Moh, 2019). A figura 3 mostra a propagação das ondas eletromagnéticas na superfície do mar, considerando os fenômenos citados.

Figura 3 – Propagação de ondas eletromagnéticas no mar.



Fonte: Habib; Moh (2019).

Essas alterações, devido ao contato das ondas eletromagnéticas com a superfície do mar, podem chegar ao receptor com interferência. A interferência pode ser construtiva, quando os sinais são recebidos pela antena receptora em fase, ou destrutiva, quando os sinais chegam defasados, resultando em atenuação significativa do sinal (Habib; Moh, 2019). Logo, deverá ser verificada a implementação de um modelo que seja capaz de prever o sinal da melhor forma, a fim de se obter o menor valor de erro em relação aos dados obtidos em medições.

2.1.3. Modelos de Propagação

Os sinais transmitidos pelo canal de RF das comunicações móveis estão sujeitos aos fenômenos de reflexão, refração e dutos de evaporação, que culminam na variação do sinal recebido. Esses problemas podem ser mitigados se as características de propagação do canal puderem ser previstas, por meio de modelos de propagação.

Esses modelos são conjuntos de expressões matemáticas usados para representar as características de um canal de RF em um determinado cenário e ambiente, considerando fatores como a frequência de operação, a distância entre o transmissor e o receptor e as condições atmosféricas. A escolha incorreta de um modelo para um cenário pode levar à superestimação ou subestimação da Perda de Percurso, ou *Path Loss* (PL) (Erunkulu, 2020).

A PL entre um par de antenas é dada pela razão entre a potência transmitida e a potência recebida, comumente expressa em decibéis (dB), podendo ser determinada convencionalmente pela equação 1:

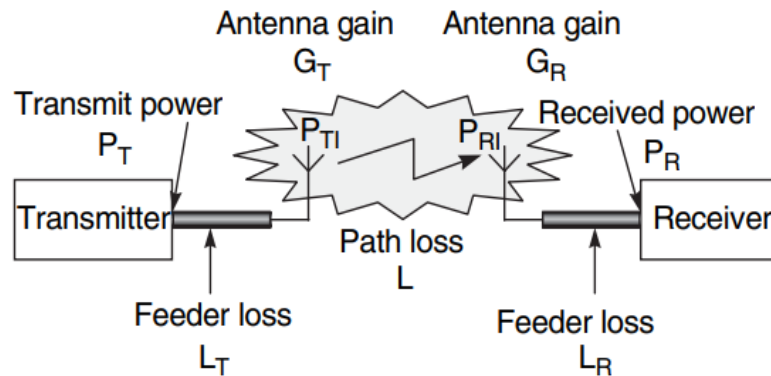
$$PL(dB) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \quad (1)$$

Onde,

- P_t – Potência Transmitida; e
- P_r – Potência Recebida.

Diversos elementos dos sistemas de transmissão e recepção estão associados à PL. Visando o correto cálculo, deve-se considerar os ganhos das antenas de transmissão e recepção, sendo usadas como referência antenas isotrópicas, bem como as perdas dos cabos utilizados nas linhas de transmissão e recepção (Saunders, 2007). A figura 4 exemplifica o modelo de comunicações, considerando cada elemento para as perdas.

Figura 4 – Elementos considerados para cálculo de Perdas de Percurso.



Fonte: Saunders (2007).

De acordo com Saunders (2007), a equação 2 expressa a PL, em decibéis:

$$PL (dB) = P_t + G_t + G_r - P_r - L_t - L_r \quad (2)$$

Onde,

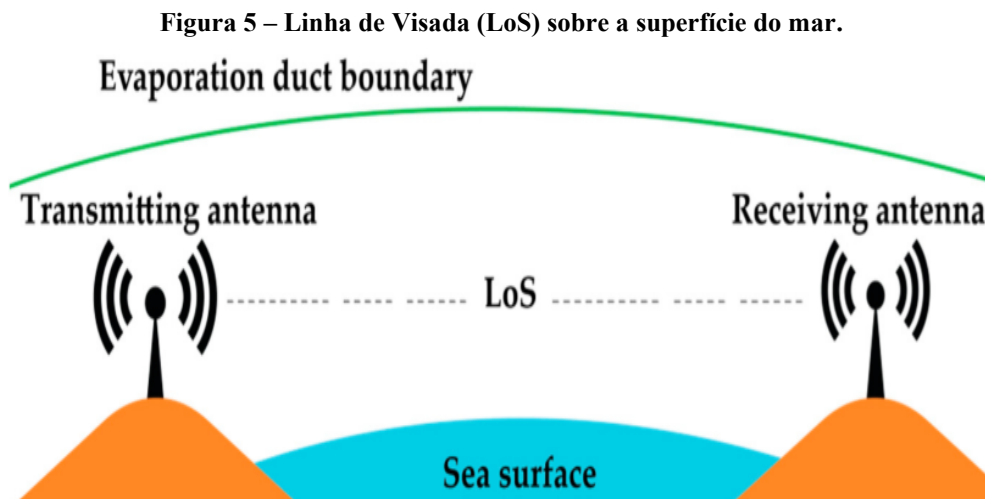
- P_t - Potência de transmissão;
- P_r - Potência de recepção;
- G_t - Ganho da antena de transmissão;
- G_r - Ganho da antena de recepção;
- L_t - Perda no cabo da linha de transmissão; e
- L_r - Perda no cabo da linha de recepção.

Processos estocásticos são geralmente aplicados por modelos na descrição da distribuição do sinal recebido, permitindo a previsão da área de cobertura do sinal, bem como o desempenho do sistema. Os modelos são geralmente derivados de dados adquiridos por meio de medições realizadas e são normalmente projetados para faixas de frequências específicas (Erunkulu, 2020).

2.1.3.1. Modelo de Perda de Percurso no Espaço Livre

O modelo de PL no Espaço Livre, ou *Free-Space Path Loss* (FSPL) é o mais simples utilizado, prevendo a intensidade do sinal de RF recebido a uma certa distância da fonte emissora. Esse modelo é utilizado para terrenos com Linha de Visada, ou *Line of Sight* (LoS), entre as fontes emissoras e receptoras (Erunkulu, 2020).

A propagação em LoS é aquela em que as ondas se propagam da fonte emissora para o destinatário em um caminho direto, não havendo obstáculos entre as antenas, sendo limitada somente pela altura das antenas e distância. Mesmo com a ausência de obstáculos, as ondas podem sofrer fenômenos como refração, reflexão e difração ao longo do percurso (Habib; Moh, 2019). A figura 5 exemplifica a LoS sobre a superfície do mar.



Fonte: Habib; Moh (2019).

A equação 3 abaixo mostra a relação entre a potência transmitida e potência recebida, conhecida como Equação de Friis. Essa fórmula descreve a potência recebida por uma antena em função da potência transmitida, dos ganhos das antenas, do comprimento de onda do sinal e da distância entre as antenas. Ela assume condições de espaço livre, ou seja, sem obstáculos ou reflexões entre as antenas (Sauders, 2007).

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3)$$

Onde,

- d – Distância entre fontes transmissora e receptora (metros);
- C – Velocidade da Luz (3×10^8 m/s);
- λ – Comprimento de onda;
- G_t – Ganho da antena transmissora (dBi); e
- G_r – Ganho da antena receptora (dBi).

Observando a equação 3 acima, é possível verificar que a potência recebida decai com o quadrado da distância entre as fontes transmissora e receptora, e é diretamente proporcional aos ganhos das antenas. A potência recebida também depende diretamente do comprimento de onda, que depende da frequência ($C = \lambda \times f$).

Analisando as equações 1 e 3, pode-se inferir que o cálculo da FSPL, retirando o ganho das antenas da equação 3, é realizado por meio da equação 5 abaixo:

$$FSPL (dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 20 \log\left(\frac{4\pi}{C}\right) \quad (4)$$

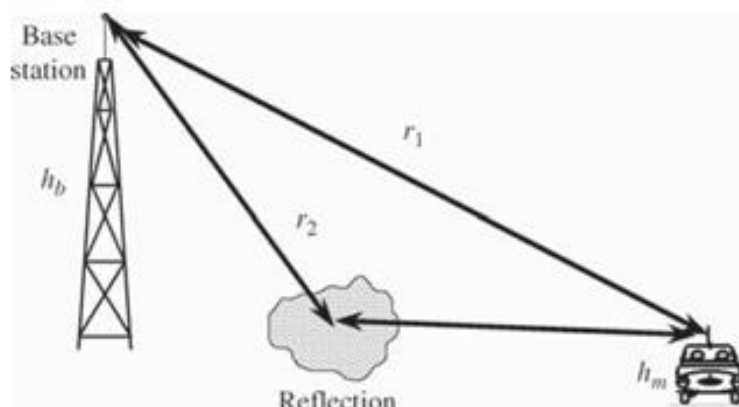
Onde,

- d – Distância entre fontes transmissora e emissora (metros);
- f – Frequência utilizada (Hz); e
- C – Velocidade da Luz (3×10^8 m/s).

2.1.3.2. Modelo de Dois Raios

Outro modelo utilizado para predição da perda de intensidade do sinal que chega à antena receptora é o Modelo de Dois Raios, que leva em consideração parâmetros além dos mencionados no modelo anterior. Segundo Saunders (2007), diferente do modelo de Espaço Livre, esse método considera a existência de dois caminhos principais para o sinal, sendo eles o raio direto e o raio refletido no solo. Quando a distância entre receptor e transmissor é curta, o modelo de Dois Raios pode ser utilizado para modelagem do canal. A figura 6 mostra o conceito do modelo de propagação de Dois Raios.

Figura 6 – Modelo de Dois Raios.



No ambiente marítimo, a reflexão da superfície do mar é muito importante para projetar um canal, por se tratar de uma superfície agitada. Em algumas ocasiões, essa reflexão pode ter influência significativa no sinal resultante. Quando ocorre a LoS, a PL pode ser medida usando o Modelo de Dois Raios (Habib; Moh, 2019), por meio da equação 5 abaixo:

$$PL_{2r}(dB) = -10 \log \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \left(2 \sin \frac{2\pi h_r h_t}{\lambda d} \right)^2 \right] \quad (5)$$

Sendo:

- h_r – Altura da antena de recepção (metros); e
- h_t – Altura da antena de transmissão (metros).

Com base na equação acima, pode-se observar que esse modelo requer um conhecimento preciso de parâmetros como a altura das antenas de transmissão e recepção envolvidas no enlace, além dos parâmetros também utilizados pelo modelo FSPL. Vale observar que a PL no modelo de Dois Raios decai com a quarta potência da distância, acarretando maiores perdas, se comparado ao Espaço Livre, com o aumento da distancia.

Logo, com o estudo e a análise de modelos de propagação e entendendo as perdas envolvidas durante o processo, pode-se estabelecer, a partir de medições, o alcance máximo de enlace de comunicações entre dois pontos. A partir desse cálculo, pode-se definir se o sistema de comunicações utilizado exercerá bem, ou não, a função para a qual será empregada.

2.1.4. Horizonte Rádio

Graças ao fenômeno da refração, a energia eletromagnética acaba se encurvando e acompanhando, até uma certa distância, a curvatura da Terra, fazendo com que o alcance máximo em ondas de RF seja maior que o horizonte visual ou geométrico, conhecido como horizonte rádio (Brasil, 2023b). Esse fenômeno é comumente modelado pela utilização de um raio efetivo da Terra, tipicamente 4/3 do raio terrestre real.

Pode-se definir horizonte rádio como distância máxima que uma onda de rádio pode viajar em linha reta, considerando a curvatura da Terra e a refração atmosférica. Para que a comunicação seja viável, as antenas de transmissão e recepção devem estar em linha de visada direta, exigindo que elas possuam altura suficiente para superar possíveis obstáculos no caminho (Negri, 2019). A determinação dessa distância máxima

é de extrema importância para o planejamento de sistemas de comunicação, permitindo o cálculo do alcance de um enlace.

A equação 6 a seguir mostra o cálculo do horizonte rádio e sua dependência direta das alturas das antenas envolvidas.

$$D_{hor} = 4,2 \left(\sqrt{h_r} + \sqrt{h_t} \right) \quad (6)$$

Sendo:

- D_{hor} – Distância máxima de visada, em quilômetros;
- h_r – Altura da antena de recepção, em metros; e
- h_t – Altura da antena de transmissão, em metros

2.1.5. Relação Sinal-Ruído

A relação sinal-ruído (*Signal-to-Noise Ratio*, SNR) é uma medida de grande importância em enlaces de comunicações, sendo utilizada para medir a qualidade dos sinais (Barbosa, 2017). A medida é obtida pela divisão dos valores da potência do sinal obtido e do ruído local.

Uma SNR alta significa que o sinal é muito mais forte que o ruído, resultando em maior inteligibilidade nas comunicações. Já uma SNR baixa significa que o ruído é tão forte quanto o sinal, o que pode causar distorções ou perdas completas de informação. A SNR, calculada em decibéis, é calculada por meio da equação 7 abaixo:

$$SNR_{dB} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \quad (7)$$

Onde,

- P_n - Potência do ruído; e
- P_s - Potência do sinal.

2.2. Veículos de Superfície Não Tripulados (USV)

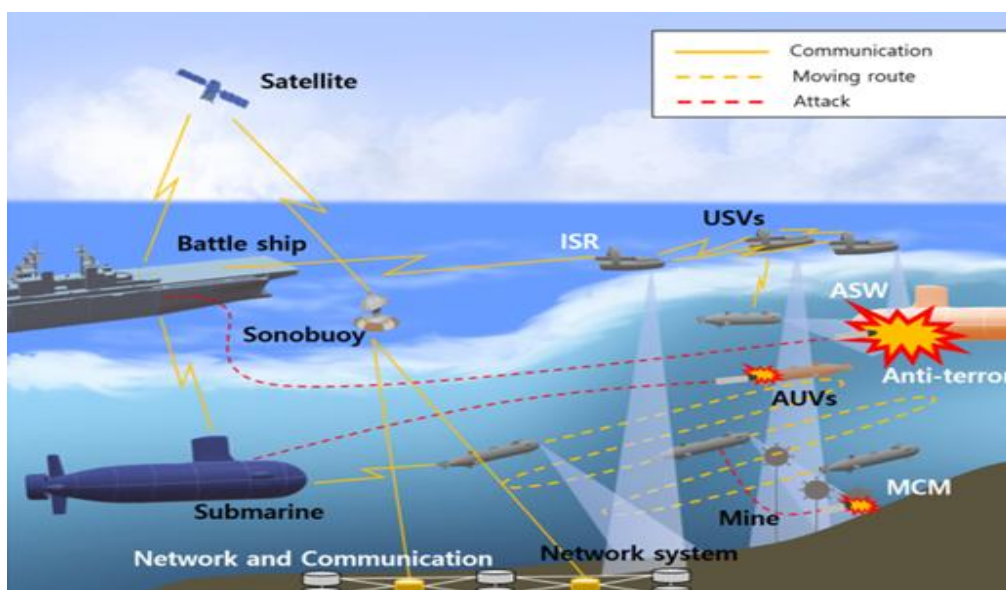
Os Veículos de Superfície Não Tripulados, conhecidos como USV, são embarcações de superfície que operam sem a presença de uma tripulação humana a bordo, que podem ser semiautônomos ou autônomos. Veículos semiautônomos são aqueles que

possuem algumas características autônomas, como sua navegação, e outras que necessitam de controle do operador para serem realizadas. Já nos autônomos, o próprio veículo deve ser capaz de gerenciar e tomar suas próprias decisões (United States of America, 2007).

Os USV têm ganhado destaque devido à sua versatilidade de aplicação, sendo empregados em pesquisas científicas, missões ambientais, exploração marinha, retransmissão de comunicação e fornecimento de combustível, além de aplicações para fins militares (Bae; Hong, 2023). Esses veículos possuem pequenas dimensões, baixo custo para produção e podem ser usados em grandes áreas de superfície marítima. Eles são capazes de realizar tarefas longas, repetitivas e críticas sem expor vidas aos riscos da missão (Bae; Hong, 2023), tornando-se uma alternativa às embarcações tripuladas que seriam utilizadas para a mesma função. Os USV podem ser vistos, ainda, como uma alternativa para fornecer multiplicação de força necessária para enfrentar ameaças, de uma maneira que seja econômica para a nação (United States of America, 2007).

Além do seu emprego de forma isolada, os USV podem interagir com outros meios tripulados ou não tripulados, possibilitando maior precisão em informações e redução no tempo de realização e no custo das missões (Bae; Hong, 2023). A figura 7 mostra a comunicação entre algumas unidades de USV e com outras plataformas, assim como sua capacidade de realização de ações de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (ISR).

Figura 7 – Aplicações dos USV.



Fonte: Bae; Hong (2023).

2.2.1. Contexto Histórico

O surgimento dos primeiros experimentos de USV se deu na Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento do conceito do primeiro USV, conhecido como “COMOX”, em 1944 pelo Canadá. Esse modelo foi projetado para gerar uma cortina de fumaça durante a invasão na Normandia (em substituição às aeronaves), além do emprego para apoiar a varredura de minas. Embora o “COMOX” não tenha sido implantado de forma efetiva na Segunda Guerra Mundial, um veículo foi construído, sendo realizados testes satisfatórios (Othman, 2015).

Nos anos seguintes à Guerra, foram desenvolvidos USV pelos Estados Unidos da América com diversas aplicações, dentre elas a varredura de minas e implantação de munições, sendo usados em 1965 durante a Guerra do Vietnã (Othman, 2015). A partir disso, diversos países buscaram desenvolver esse tipo de tecnologia, como Reino Unido, Japão, China, Israel, dentre outros, utilizados para fins tanto comerciais, como militares (Silva, 2020).

Mais recentemente, os USV foram utilizados durante a Guerra da Ucrânia, logrando êxito em diversas missões, como o ataque à Base Naval de Sevastopol, sede da Esquadra Russa no Mar Negro, atingindo navios que se encontravam atracados. Vale ressaltar a furtividade como chave para o sucesso das operações de ataque, devido à baixa seção reta radar das embarcações, uma vez que não há necessidade de grandes estruturas para abrigar pessoal e material (Fonseca; Silva, 2023).

2.2.2. Aplicações Atuais dos USV

Os projetos atuais de USV visam empregá-los nos ambientes militar e civil. As principais aplicações no meio militar são voltadas para Guerra de Minas, Guerra Antissubmarino, Antiterrorismo, Guerra Eletrônica e Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (ISR) (Bae; Hong, 2023). Já no ambiente civil, podem ser utilizados visando o monitoramento da qualidade da água, geração de imagens batimétricas do fundo do mar, inspeção de plataformas de óleo e proteção de portos, sendo o último de utilidade militar e civil (Rowley, 2018).

Dentre seus possíveis empregos, a capacidade de ISR pode ser utilizada para fins militares, em tempos de paz e de guerra. Essa possibilidade operacional permite identificar comportamentos suspeitos no tráfego marítimo e localizar fontes emissoras, além de proteger instalações e navios (Bae; Hong, 2023). Como exemplo de utilização no âmbito da vigilância e patrulhamento, a Marinha da República de Singapura oficializou,

em janeiro de 2025, a utilização dos USV MARSEC (figura 8) totalmente não tripulados para patrulha do Estreito de Singapura. Os USV são utilizados para realização de patrulhas, investigação e interceptação de embarcações suspeitas e, quando operando em conjunto com outras embarcações tripuladas, incrementam a capacidade de monitoramento (Arthur, 2025).

Figura 8 – USV MARSEC.



Fonte: Arthur (2025).

Considerando o emprego dual dos USV, a missão de proteção de portos é essencial, seja para proteção de Navios militares ou Navios de carga e cruzeiro. Como a missão de segurança portuária exige vigilância perene, os USV podem reforçar ou substituir essas embarcações tripuladas, a fim de monitorar áreas específicas ou para investigar embarcações de superfície que entram e saem do porto (Rowley, 2018).

A fim de verificar o emprego eficaz dos USV nesse sentido, foram testados os veículos MANTAS T3, T6 e T8, da empresa MARTAC, durante a comissão *RIMPAC Trident Warrior*, realizada pela Marinha dos Estados Unidos da América em 2016. Foi verificada a capacidade dos USV em cenários que variaram de monitoramento básico de segurança portuária, detecção de mergulhadores, proteção de unidades de alto valor e rastreamento de alvos de interesse (Rowley, 2018).

O Brasil, atento aos avanços tecnológicos e a tendência futura de missões no mar, buscou investir em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de forma própria e com empresas parceiras, a fim de produzir USV para emprego em operações reais.

Em 2021, a Marinha do Brasil, capitaneada pelo Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV), iniciou o desenvolvimento de um projeto experimental de USV (USV-E), que converteu a lancha convencional URCA-III em uma embarcação não tripulada. Após seu sucesso inicial, o USV-E foi convertido em laboratório, desenvolvendo atualmente um USV para missões de Guerra de Minas (Fonseca; Silva, 2023). A figura 9 mostra a lancha URCA-III adaptada como USV.

Figura 9 – Lancha URCA-III adaptada como USV.



Fonte: Fonseca; Silva (2023).

Em fevereiro de 2024, a Tide Wise, empresa brasileira com foco na indústria naval inteligente, e a Empresa Gerencial de Projetos Navais (EMGEPRON) firmaram um acordo de cooperação. A EMGEPRON é uma empresa pública subordinada à Marinha do Brasil. O acordo visa a produção, com tecnologia nacional, de USV de 7 e 11 metros para emprego dual (civil e militar), denominados SUPPRESSOR 7 e SUPPRESSOR 11, respectivamente. A entrega do primeiro veículo está prevista para o início de 2026. (Padilha, 2024).

Esses veículos, embora com características técnicas distintas, compartilham os mesmos sistemas de sensores, tanto submersos quanto de superfície. Seu emprego abrange uma ampla gama de operações, incluindo levantamentos hidrográficos, Guerra Antissubmarino e Guerra de Minas. Adicionalmente, podem ser utilizados em atividades de vigilância e patrulha em águas marítimas, costeiras, fluviais e restritas, como baías e lagos. Essa versatilidade permite o combate a atividades ilícitas e a coleta de informações de inteligência. (Padilha, 2024). A figura 10 apresenta o protótipo do USV Supressor 7.

Figura 10 – Protótipo do USV Supressor 7.



Fonte: Bursztein (2025).

2.3. Rádio Definido por Software

Os sistemas de comunicações usuais utilizam um *hardware* dedicado, com diversos componentes ajustados para operar em uma frequência específica. Porém, esse tipo de arquitetura não é ideal para um sistema que visa a cobertura de uma ampla faixa de frequências, uma vez que ajustes de frequência ou demais alterações demandam modificações físicas no hardware, acarretando elevação dos custos, por exemplo, fazendo com que fosse necessário vislumbrar alternativas para tais limitações.

2.3.1. Contexto Histórico

O conceito de Rádio Definido por Software (RDS) teve origem a partir de pesquisas no Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, entre os anos de 1970 e 1980, que tinha como objetivo desenvolver um equipamento de rádio transmissão que se adaptasse a várias faixas de frequências sem a necessidade de alteração no *hardware* (Janson, 2012).

Segundo Reis *et al.* (2012), ainda no início da década de 1970, foi projetado pela área militar do governo norte-americano um dos primeiros sistemas RDS conhecidos, o *SpeakEasy*. Esse equipamento tinha como objetivo emular diversos rádios militares, operando entre 2 e 2000 MHz, englobando as faixas de HF, VHF e UHF, além de permitir a incorporação futura de novos padrões de modulação.

Embora o conceito do RDS seja da década de 1970, o termo só foi introduzido pela primeira vez em 1991, por Joseph Mitola, cientista da *Defense Advance Research*

Products Agency dos Estados Unidos, que publicou um dos primeiros artigos sobre o assunto em 1992 (Reis *et al.*, 2012), detalhando sua arquitetura, modo de funcionamento e principais características.

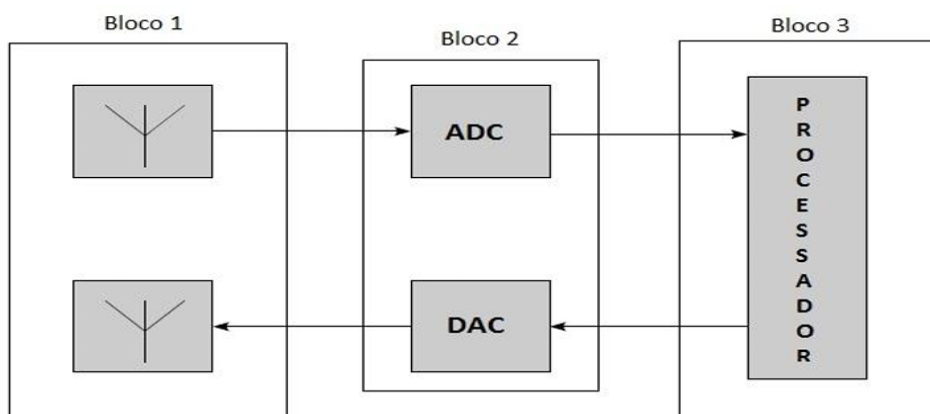
2.3.2. O Rádio Definido por Software Ideal e Real

Segundo Mitola (2002), um transceptor ideal RDS é entendido como conversores digital/analógico (DAC) e analógico/digital (ADC) ligados às antenas de transmissão e recepção, respectivamente, e um *software* que permita a realização das funções de transmissão, recepção, geração de sinal, modulação e demodulação, temporização, controle, codificação e decodificação do sinal rádio.

De forma simplificada, um Rádio Definido por Software é um transceptor de rádio que tem todo seu princípio de funcionamento executado por um *software*, permitindo alteração no modo de funcionamento por meio de mudança de códigos deste *software*, sem a necessidade de alteração de componentes de hardware (Janson, 2012), além de ser sintonizável para frequências que variam entre VLF e UHF, dependendo do modelo a ser utilizado.

A figura 11 ilustra o funcionamento de um transceptor RDS ideal, que é composto por três blocos principais. O primeiro envolve a recepção e transmissão dos sinais analógicos, por meios das antenas. Em seguida, esses sinais são convertidos de analógico para digital, durante a recepção, e de digital para analógico, durante a transmissão, utilizando os componentes ADC e DAC, respectivamente. Por fim, o terceiro bloco mostra o processador responsável pela geração e modulação dos sinais via *software* na transmissão, bem como pela demodulação dos sinais recebidos na recepção.

Figura 11 – RDS ideal.



Fonte: Janson (2012).

De acordo com Barros (2007), os RDS ideais se propõem a apresentar três características principais: flexibilidade, reconfigurabilidade e modularidade. A flexibilidade reside na possibilidade de efetuar alterações no sistema sem realizar modificações em sua arquitetura. Por sua vez, a reconfigurabilidade refere-se à capacidade de modificar o funcionamento do rádio de forma remota, sem intervenção física. A modularidade, por fim, baseia-se na separação do sistema em diferentes módulos, permitindo que mudanças em um módulo específico não comprometam o funcionamento global.

Segundo Barros (2007), a capacidade de adaptabilidade dos *softwares* dos RDS exige o uso de Antenas Inteligentes. Essas antenas, conforme Trevisan (2001), podem ser definidas como conjunto de elementos de antena que proporcionam uma mudança dinâmica no padrão de antena, tanto na transmissão quanto na recepção. O objetivo é ajustar-se a ruídos e interferências, otimizando o sinal de interesse.

No entanto, a implementação de um modelo ideal de RDS não é viável na prática. Isso se deve às limitações dos conversores ADC e DAC disponíveis, que não conseguem amostrar toda a faixa de frequências desejada para a operação dos RDS (Lopes, 2013). Além disso, esses conversores apresentam restrições adicionais, como ruído térmico, ruído de quantização e distorções não lineares (Barros, 2007). Tais limitações tornaram necessária a implementação, em certo grau, elementos de hardware. Logo, a fim de viabilizar a execução real dos RDS, introduziu-se um novo módulo, chamado *front end*, que pode ser visto como um bloco responsável pelo tratamento do sinal de RF com o intuito de transmiti-lo ou processá-lo da melhor maneira possível, localizado entre a antena e os ADC e DAC.

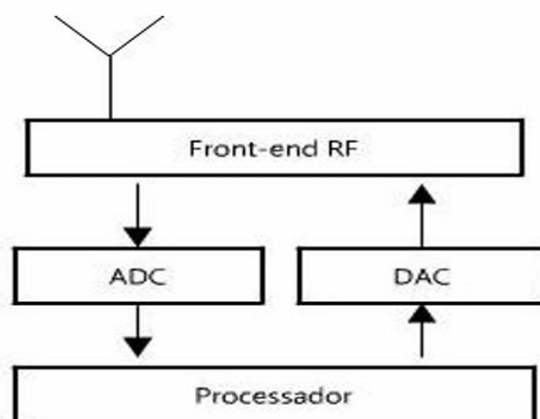
Essa preparação do sinal é realizada por meio de uma série de etapas. Inicialmente, ocorre a amplificação do sinal, a fim de elevar sua potência a um nível ideal de processamento. Em seguida, o controle de ganho ajusta o nível de entrada para evitar a saturação dos circuitos. Outra etapa de grande importância é o deslocamento de frequência: na recepção, a frequência original é convertida para uma frequência intermediária (FI) mais baixa, enquanto na transmissão, a FI é convertida de volta para a frequência original do sinal. Por fim, uma filtragem *anti-aliasing* é aplicada para remover componentes de frequência indesejadas, prevenindo que ocorra sobreposição de espectros durante a amostragem digital. (Barros, 2007).

O objetivo de todos esses processos, tanto na recepção quanto na transmissão, é facilitar o processamento do sinal. A redução da frequência original para a frequência

intermediária facilita a filtragem do sinal, preparando o sinal para a posterior conversão e processamento digital. Além disso, a etapa de filtragem remove sinais e ruídos indesejados, cujas componentes de frequência estão fora da largura de banda desejada.

O abaixamento da frequência do sinal recebido, proporcionado pela implementação do *front end*, permite que sejam usados os DAC e ADC disponíveis atualmente, mesmo com suas limitações já mencionadas. Além de solucionar a problemática da tecnologia dos DAC e ADC do mercado, pode-se otimizar os custos do projeto de um RDS, empregando-se no projeto conversores de baixo custo (Janson, 2012). A figura 12 ilustra um exemplo de um transceptor RDS com características reais, com implementação possível.

Figura 12 – RDS real para implementação.



Fonte: Reis *et al.* (2012).

Embora os RDS tenham surgido com a ideia de serem implementados como transceptores, eles podem ser adaptados e utilizados como equipamentos dotados apenas com a capacidade de recepção. Essa possibilidade faz dos RDS equipamentos passivos, o que os torna extremamente relevantes para serem usados como MAGE-COM. Por serem passivos, eles têm características essenciais no cenário tático, como a furtividade. Isso significa que eles podem operar de forma discreta, sem emitir sinais que revelem a sua posição ao oponente durante ações militares.

2.3.3. Desenvolvimento de RDS no Âmbito Militar Global

O RDS, devido às suas características mencionadas, é motivo de estudo e aprimoramento constante no mundo. Suas aplicações se tornaram amplas no âmbito militar, sendo utilizados em diversas Forças Armadas no mundo. As Forças de Defesa de

Israel iniciaram o desenvolvimento de um RDS próprio em 2003, como o apoio da empresa *Elbit Systems*, visando modernizar seus sistemas de comunicações (Silva, 2024). Em 1997, foi iniciado, nos Estados Unidos da América, o desenvolvimento do *Join Tactical Radio System* (JTRS), com a participação de empresas como a Thales e L3Harris, visando a interoperabilidade das forças (Silva, 2024).

Na Europa, foi iniciado em 2007 o *European Secure Software Defined Radio* (ESSOR), que visa melhorar a interoperabilidade nas capacidades de comunicação nos domínios terrestre, marítimo e aéreo por meio do desenvolvimento de Rádios Militares Europeus Definidos por Software, visando o desenvolvimento de formas de onda para necessidades específicas, sendo a França o país coordenador do projeto (European Union, 2018).

No Brasil, há um projeto em curso para o desenvolvimento de um RDS nacional, nomeado de RDS-DEFESA, iniciado em 2012, com apoio conjunto entre as Forças Armadas, sendo o Exército Brasileiro a Força responsável pela coordenação do projeto. Atualmente, o projeto do RDS-DEFESA tem avançado gradativamente, com o objetivo de possibilitar a interoperabilidade entre as Forças Armadas brasileiras e elevação do poder de combate, contemplando as faixas de frequências HF, VHF e UHF (Silva, 2024).

Cada Força possui uma parcela de contribuição ao projeto, sendo a Marinha do Brasil responsável pelo desenvolvimento do projeto *Multi Data Link Processor* ou Link Processador Multi Dados (MDLP), que pode ser entendido como um *software* que interliga os dados de tráfego em diferentes Enlaces de Dados Táticos. A Organização Militar responsável pelo projeto é o CASNAV, sob responsabilidade, na Marinha do Brasil, da Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha (DSAM) (Santos; Botelho, 2023). A figura 13 mostra o protótipo do ciclo veicular do Projeto RDS-DEFESA.

Figura 13 – RDS DEFESA.



Fonte: Exército Brasileiro (2023).

2.3.4. Vantagens e Desvantagens dos RDS

A partir da análise das características de um RDS, pode-se observar que este tipo de rádio possui vantagens quando comparados aos rádios tradicionais. O conceito do RDS permite a substituição dos hardwares usados nos equipamentos de comunicações por uma implementação de dispositivos programáveis controlados por *software*, como por exemplo, um computador pessoal, tornando-os mais flexíveis (Reis *et al.*, 2012).

Além da flexibilidade, os RDS são mais resistentes às variações de temperatura e ao envelhecimento de seus componentes, visto que o processamento ocorre de forma digital, e o desempenho deixa de estar atrelado à precisão dos componentes analógicos do rádio. Devido ao processamento por *software*, há redução na quantidade e complexidade dos *hardwares*, limitando a necessidade apenas do *front-end*, o que influencia o custo final reduzido do equipamento (Reis *et al.*, 2012).

Além de suas outras qualidades, os RDS são especialmente vantajosos por seu baixo custo e manutenção simplificada. Primeiramente, a produção de hardware padronizada e o baixo custo do desenvolvimento de software resultam em um valor final mais acessível para o consumidor, tornando esses dispositivos bastante atraentes (Barros, 2007). Em segundo lugar, de acordo com Reis *et al.* (2012), uma vantagem adicional está na facilidade de operação e manutenção. Isso porque correções de erros, adaptações ou aprimoramentos nos serviços podem ser feitos sem a necessidade de desligar o sistema ou alterar sua estrutura.

Embora haja uma consistente vantagem dos RDS sobre os rádios convencionais, Lopes (2013) expõe como desvantagem a complexidade do projeto e da construção do *front-end*, uma vez que o *hardware* do RDS deve operar em uma faixa de frequências mais ampla em comparação aos rádios convencionais, a fim de manter a flexibilidade de alterar os parâmetros de transmissão apenas por *software*.

A segurança também é um quesito a ser observado na implementação de rádios que operam a partir de *softwares* programáveis. Falhas de segurança podem ocorrer em níveis mais baixos dos protocolos, com um custo menor, e estas podem ser exploradas remotamente, o que não acontece com rádios estruturados por *hardwares* (Silva *et al.*, 2015).

Segundo Silva *et al.* (2015) os RDS possuem, ainda, a desvantagem de apresentarem um desempenho inferior, pois um sistema baseado em *hardware* é otimizado para a tarefa em questão, enquanto um sistema baseado em *software* geralmente emprega um *hardware* genérico, o que demanda mais ciclos para executar as mesmas tarefas. Além disso, uma mesma unidade de processamento programável pode executar diversas atividades simultaneamente, de comunicação ou não, o que pode reduzir a capacidade de processamento e gerar atrasos nas comunicações.

No entanto, após a análise das vantagens e desvantagens, observa-se que as vantagens apresentadas justificam a utilização desta tecnologia, em detrimento das desvantagens. Isso se deve, principalmente, ao baixo custo de implementação e à flexibilidade dos RDS, que podem ser aplicados em diversas situações e locais.

2.3.5. Modelo de RDS Escolhido para Medições

Existem, disponíveis para aquisição, diversos modelos de RDS, que possuem variação de custo e de especificações operacionais. Logo, foi necessário escolher um dos modelos de RDS existentes para emprego durante a campanha de medições realizadas. Tendo em vista a sua aplicação para MAGE-COM embarcados em meios de superfície não tripulados, o principal critério de seleção do RDS foi a sua funcionalidade de recepção exclusiva. Essa característica visa redução no custo de implementação em comparação aos transceptores RDS.

O equipamento selecionado para realização das medições de alcance na faixa de VHF foi o RTL-SDR V3, devido ao seu menor custo de aquisição. O equipamento a ser utilizado pertence ao Centro de Guerra Acústica e Eletrônica da Marinha (CGAEM), que é a Organização Militar Orientadora Técnica (OMOT) de Guerra Eletrônica na Marinha

do Brasil. A colaboração dessa OMOT possibilita a aplicação do equipamento em um cenário real, e a análise de dados recebidos, mediante a interceptação e análise de emissões de radiofrequência provenientes de um transceptor VHF dedicado, posicionado na baía de Guanabara.

O RTL-SDR V3 é o rádio de menor custo, com valores variando entre 30 e 40 dólares, e é aplicado em cenários de menor complexidade devido à sua limitada robustez. Esse modelo de rádio opera na faixa de frequência de 500 kHz a 1.766 GHz, cobrindo toda a faixa de VHF, possuindo uma largura de banda que pode chegar a 3.2 MHz. O ADC deste modelo tem resolução de 8 bits, sendo a de menor precisão na digitalização do sinal analógico em comparação aos demais modelos existentes (Laufer, 2015). A tabela 1 mostra as principais características do modelo escolhido RTL-SDR V3.

Tabela 1 – Características do RTL-SDR V3.

MODELO	RESOLUÇÃO ADC	LARGURA DE BANDA	FAIXA DE FREQUÊNCIA	CUSTO MÉDIO (USD)
RTL-SDR V3	8 BITS	3.2 MHz	500 KHz a 1,766 GHz	30 a 40

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4. Políticas Nacionais Sobre Ações Marítimas

A fim de contextualizar a escolha das áreas marítimas que serão utilizadas neste trabalho, é importante mencionar a Política Nacional de Defesa (PND) e a Estratégia Nacional de Defesa (END), que são documentos do Ministério da Defesa, e a Política Marítima Nacional, que é um decreto ratificado pelo Presidente da República.

2.4.1. Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa

A PND e a END são documentos que norteiam a segurança e soberania do Brasil. A PND estabelece os objetivos e princípios gerais da defesa, orientando o Estado na proteção dos interesses nacionais contra ameaças e pressões de qualquer natureza. Complementarmente, a END detalha como esses objetivos serão alcançados, definindo as ações, capacidades e a organização necessária para a materialização da PND (Brasil, 2016).

Do ponto de vista militar, esses documentos são de grande relevância, pois transformam a visão estratégica em diretrizes operacionais para as Forças Armadas. No âmbito da Marinha do Brasil, é destacado na END que é essencial que o Poder Naval possua meios com capacidade de detecção, identificação e neutralização de ameaças nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), tendo em vista a crescente quantidade de ilícitos, como pirataria e tráfico de drogas (Brasil, 2016). Logo, os Navios que atuarem na AJB devem ser capazes de cumprir as tarefas básicas do Poder Naval, que são: Controle da área marítima; negação do uso do mar; projeção do poder sobre terra; e contribuição para dissuasão (Brasil, 2016).

No contexto do cumprimento das tarefas básicas, a END identificou áreas litorâneas que demandam atenção especial. Estas incluem a área marítima compreendida entre Santos-SP e Vitória-ES, e a região em torno da foz do rio Amazonas (Brasil, 2016). Adicionalmente, a entrada do porto do Rio de Janeiro, em virtude de sediar a Esquadra Brasileira, constitui igualmente um ponto de cuidado, dada sua elevada relevância estratégica.

2.4.2. Política Marítima Nacional

A END, com foco na soberania e proteção dos interesses do Brasil, encontra um de seus pilares na Política Marítima Nacional (PMN). Esta, por sua vez, atua como o braço operacional no vasto ambiente marítimo, por meio do estabelecimento das diretrizes para a segurança, o desenvolvimento econômico e a exploração sustentável de nossos recursos. Dessa forma, enquanto a Estratégia define a visão geral de segurança do país, a PMN a traduz em ações concretas para salvaguardar as AJB e projetar o poder nacional no mar, sendo assim interdependentes.

A PMN, estabelecida pelo decreto nº 12.481, de 2 de junho de 2025, tem como propósito orientar as ações do Estado para o uso sustentável, a proteção e a soberania dos vastos espaços marítimos sob jurisdição brasileira. O decreto busca modernizar e fortalecer as capacidades do país no ambiente marítimo, estimulando a pesquisa científica e a cooperação internacional, sempre com foco na sustentabilidade e na inovação (Brasil, 2025). De forma geral, a PMN integra diversas áreas do governo, como defesa, economia, meio ambiente e ciência e tecnologia, visando a proteção das águas nacionais.

A defesa da soberania e a garantia da segurança nacional no mar são dois dos pilares da Política Marítima Nacional (Brasil, 2025). O decreto ressalta a importância de proteger os interesses do país no mar, o que inclui a vigilância e o controle das águas

jurisdicionais brasileiras, destacando-se a necessidade de desenvolvimento de sistemas capazes de realizar a segurança marítima. Esse ponto pode ser associado, ainda, com a necessidade de fortalecer as capacidades de monitoramento, patrulhamento e dissuasão, garantindo a integridade territorial e a segurança das operações no mar contra atos ilícitos e a pesca ilegal (Brasil, 2025).

A política aborda, também, a necessidade de estimular a pesquisa científica e tecnológica e a inovação, por meio da difusão de conhecimentos científicos e acadêmicos sobre segurança marítima (Brasil, 2025), o que amplia a atuação da PMN para áreas além das ações governamentais. Tal estímulo permite que sejam estudadas maneiras de realizar os patrulhamentos necessários na AJB de forma mais econômica e sustentável.

A partir da análise das políticas nacionais em vigor, é destacada a relevância da aplicabilidade do uso dos USV com RDS embarcados como MAGE-COM. A utilização dos USV na situação proposta visa incrementar a capacidade de patrulha das AJB, com foco nas entradas de portos nacionais, a fim de promover a segurança nacional e combater ilícitos no mar. O uso dos USV resultaria em redução dos custos operacionais, uma vez que não seriam utilizados Navios tripulados para realizarem as patrulhas, acionando-os somente em caso de detecção de comunicações suspeitas. Por fim, o trabalho acadêmico em questão visa contribuir para o debate da segurança marítima, enquadrando-se na difusão de conhecimento sobre as questões do mar.

3. METODOLOGIA

Esta seção abordará a metodologia utilizada para a realização deste trabalho. Será realizada a classificação da pesquisa quanto aos fins e aos meios, bem como a exposição das limitações do método e abordagem sobre a coleta e tratamento dos dados utilizados no projeto.

3.1. Classificação Quanto aos Fins

O presente trabalho, quanto aos fins, é classificado como exploratório e descritivo. A abordagem exploratória busca proporcionar maior familiaridade com o problema, visando seu aprofundamento e aprimoramento por meio de levantamentos bibliográficos, enquanto a descritiva tem como principal objetivo descrever as características de determinado fenômeno, estabelecendo relações entre variáveis (Gil, 2002). Essa dupla classificação é necessária para que se possa oferecer uma compreensão detalhada e bem fundamentada.

3.2. Classificação Quanto aos Meios

No que se refere aos meios, a pesquisa se caracteriza como bibliográfica e de campo. A pesquisa bibliográfica foi fundamental para a elaboração do referencial teórico, utilizando-se de materiais constituídos, basicamente, por livros, artigos científicos, teses e dissertações. Já a pesquisa de campo consiste na observação de fatos que ocorrem espontaneamente, coleta de dados e registro de variáveis relevantes para analisá-los. Ambas as pesquisas estão relacionadas, uma vez que para se realizar uma pesquisa de campo deve-se, primeiramente, realizar uma pesquisa bibliográfica do assunto em questão (Lakatos; Marconi, 2017).

3.3. Limitações do Método

Assim como em diversas pesquisas, há algumas barreiras impostas que limitam a exatidão do método proposto. Tendo em vista ser um tema atual e ainda em exploração, os RDS devem ser testados, de forma efetiva, embarcados em USV para verificação prática do seu comportamento em condições de navegação, sendo influenciados pelo balanço e caturro da embarcação.

Ademais, os equipamentos utilizados para a obtenção de dados foram os disponíveis para execução da coleta. Tanto os equipamentos usados para transmissão quanto para recepção dos sinais possuem limitações. O equipamento de recepção RTL-SDR V3, bem como a antena omnidirecional associada, são modelos de baixo custo para aquisição, com limitações de processamento de dados e ganho, o que pode gerar a obtenção de dados menos confiáveis se comparados à equipamentos mais robustos.

3.4. Coleta e Tratamento de Dados

Neste trabalho, a coleta e o tratamento de dados constituem uma etapa fundamental, visto que a metodologia adotada se baseou em uma análise de campo a partir da medição de sinais de comunicações. Para isso, foram realizadas medições reais por meio da montagem de uma estação receptora, com o objetivo de obter uma série de dados para posterior verificação. A análise desses dados foi realizada com o auxílio do *software* MATLAB, que foi utilizado para processar as informações obtidas durante a campanha de medição e os dados técnicos dos equipamentos de transmissão e recepção. Tais etapas culminaram na interpretação final dos resultados, em conformidade com os objetivos estipulados para este trabalho.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Será relatado, neste capítulo, o contexto no qual as medições foram conduzidas. Ademais, serão verificados os parâmetros utilizados pelas estações de transmissão e de recepção, descrevendo os equipamentos utilizados, bem como suas informações e características relevantes.

Após a descrição dos equipamentos utilizados no enlace de comunicações, serão exibidos os resultados obtidos durante as medições realizadas. Essa análise foi conduzida utilizando estações fixas, com a estação transmissora e receptora separadas fisicamente pela baía de Guanabara, localizado em águas interiores no Rio de Janeiro, sendo utilizada a faixa de frequência de 156,4 MHz.

4.1. Descrição do Contexto de Medição

De modo a tornar exequível a realização das medições, foi necessário o estabelecimento de locais que representassem a propagação no ambiente marítimo com linha de visada direta, a fim de gerar uma representação próxima à realidade encontrada por USV em patrulhas. Logo, foram escolhidos dois locais separados fisicamente pela baía de Guanabara, no estado do Rio de Janeiro: Cais norte do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ) e Base Almirante Castro e Silva (BACS). Essas duas organizações militares estão distantes 4.117 m, aproximadamente, de acordo com dados obtidos pelo *Google Earth*. A figura 14 apresenta ambos os pontos utilizados.

Figura 14 – Distância entre AMRJ e BACS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Corveta Barroso, representada na figura 15, atuou como a estação transmissora, conduzindo a emissão das mensagens a partir do cais norte do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). A mensagem padrão utilizada pelo navio foi: “CGAEM, CGAEM, aqui Corveta Barroso, experiência fonia, câmbio”. A transmissão ocorreu no canal 08 do VHF Marítimo, correspondente à frequência de 156,4 MHz. O equipamento de transmissão utilizado foi o transceptor VHF marítimo IC-M304, da marca ICOM, acoplado a uma antena Shakespeare HS-2774.

Figura 15 – Corveta Barroso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estação de recepção foi instalada na BACS. A configuração do sistema receptor consistiu no rádio RTL-SDR V3, conectado a um notebook, e na antena omnidirecional AP0191, da marca STEELBRAS. Ademais, foram empregados cabos coaxiais RG58 de 6 metros de comprimento em ambas as estações. A configuração física do sistema de recepção é ilustrada na figura 16, que representa o arranjo dos equipamentos durante a campanha de medições.

Figura 16 – Sistema de recepção usando RDS.



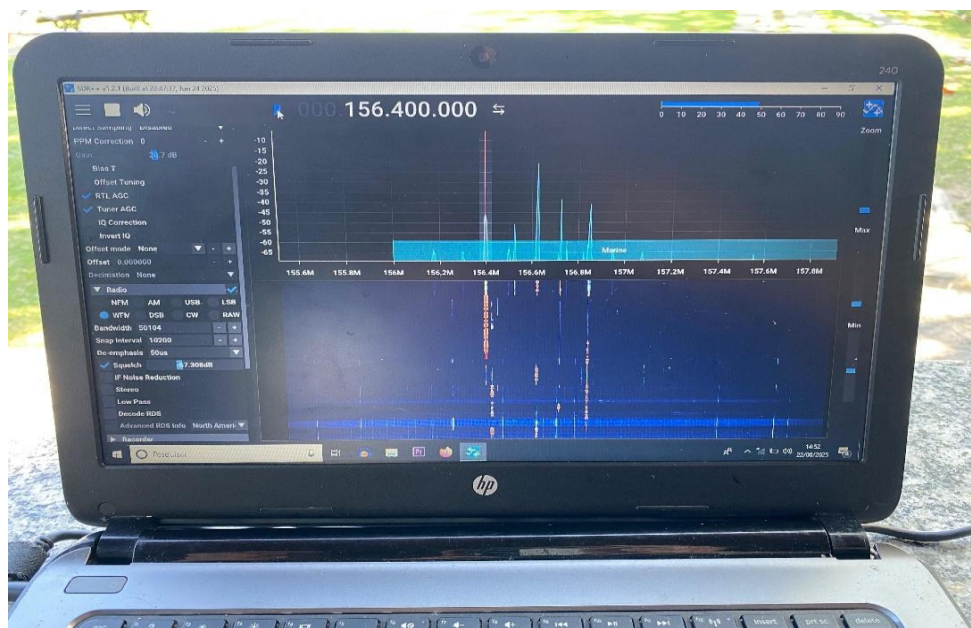
Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante a campanha de medições, foram realizadas 30 aquisições de dados com o objetivo de caracterizar o desempenho do enlace de comunicação. A coleta de dados foi focada na análise de dois importantes parâmetros: a potência do sinal recebido e a relação sinal-ruído, que podem apresentar variações em ambientes de comunicação real.

O sistema de recepção foi configurado com o *software* SDR++, que operou como a interface principal para a aquisição e análise dos sinais de rádio transmitidos. Este *software* oferece duas representações visuais essenciais para a análise espectral: o *Fast Fourier Transform* (FFT), que apresenta o espectro de frequência, e o Cascata (*waterfall*), o que permite uma análise detalhada dos parâmetros do sinal.

O FFT fornece uma representação instantânea da potência do sinal em função da frequência, enquanto o gráfico de Cascata mostra a evolução do espectro ao longo do tempo, permitindo identificar a intensidade do sinal (indicada pela profundidade da cor) e a largura de banda da transmissão (Donkersley, 2022). A figura 17 ilustra a tela do *software* SDR++ durante a campanha de medições, evidenciando a capacidade de monitoramento em tempo real utilizada para a coleta de dados.

Figura 17 – Tela inicial do *software* SDR++.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Discussão dos Resultados Obtidos

Após as transmissões realizadas pela Corveta Barroso, os dados obtidos indicaram uma potência média recebida variando entre -35 dBm e -30 dBm e relação sinal-ruído média estimada em 60 dB. A determinação desses valores foi baseada em uma análise visual e analógica, sem o auxílio de relatórios automatizados, já que o *software* SDR++ não oferece a função de exportação de dados brutos de forma nativa. Por essa razão, os resultados apresentados são aproximações, refletindo as observações visuais dos parâmetros exibidos na tela de interface do software durante o período de medição.

Com base nos valores obtidos nas medições, foi possível calcular a potência do ruído por meio da equação 7, uma vez que são conhecidos os valores da SNR e da potência recebida. A partir desse cálculo, obteve-se um valor de -90 dBm para a potência de ruído. Considerando que a sensibilidade média do RTL-SDR V3 é de, aproximadamente, -130 dBm em sua faixa de operação (Laufer, 2015), o valor de -90 dBm foi adotado como o limiar de inteligibilidade para os cálculos de predição de alcance. Isso se justifica pelo fato de que sinais com potência inferior a -90 dBm não seriam detectáveis de forma confiável a partir da demodulação do sinal recebido.

Além dos valores obtidos pela análise inicial a partir das medições, foi necessário verificar os parâmetros dos componentes dos sistemas de transmissão e recepção, de forma a possibilitar os posteriores cálculos de alcance de comunicações.

4.2.1. Componentes das Estações Transmissora e Receptora

A Corveta Barroso, como estação transmissora, utilizou os seguintes componentes para o sistema de transmissão: Transceptor VHF marítimo IC-M304, empregado em *Low Power*, com potência de transmissão de 1W (Icom Inc, s.d.); antena Shakespeare HS-2774, com ganho de 4 dBi e altura de 13,5 metros (Shakespeare, 2015), somando a altura da plataforma de instalação; e cabo RG 58, com 6 metros de comprimento, e perda de 1 dB (Condutti, s.d.).

A estação receptora, composta pelo RTL-SDR V3, utilizou os seguintes componentes para o sistema de recepção: Equipamento RTL-SDR V3; antena omnidirecional AP0191, com ganho de 3.15 dBi e altura de 3 metros, também considerando a altura da plataforma (Steelbras, s.d.); e cabo RG 58, com 6 metros de comprimento, e perda de 1 dB (Condutti, s.d.). Além dos parâmetros citados, foi considerado o valor de ganho de 20.7 dB acrescido diretamente no *software* SDR++, a fim de incrementar a SNR.

A tabela 2 apresenta um resumo dos parâmetros de todos os equipamentos utilizados em ambas as estações.

Tabela 2 – Parâmetros dos equipamentos usados.

Potência de transmissão	30 dBm
Ganho da antena de transmissão	4 dBi
Ganho da antena de recepção	3.15 dBi
Altura da antena de transmissão	13,5 metros
Altura da antena de recepção	3 metros
Perdas nos cabos (transmissão e recepção)	1 dB

Fonte: Elaborado pelo autor.

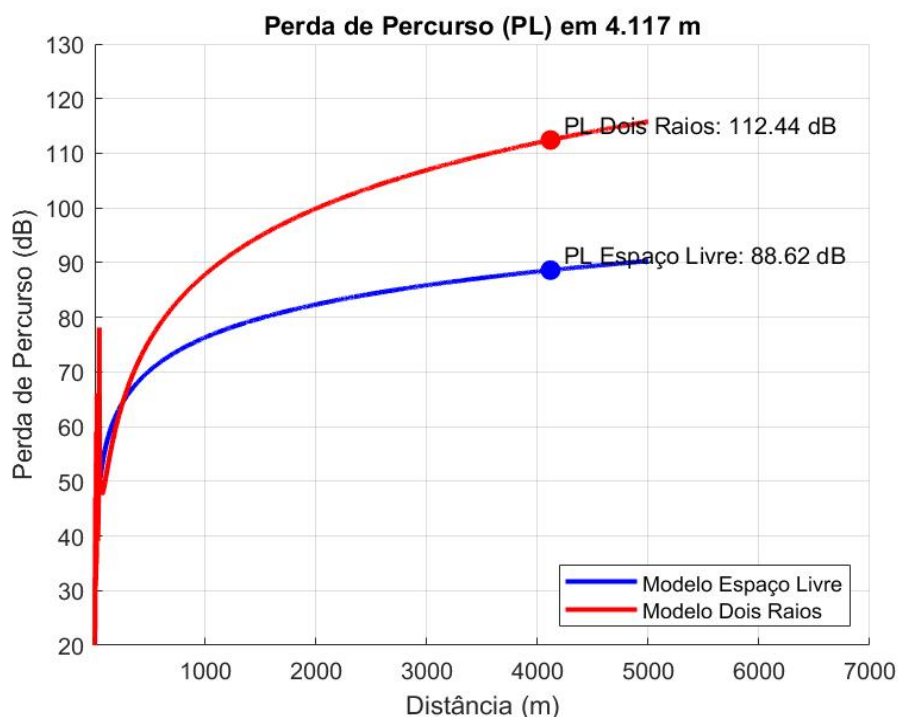
4.2.2. Resultado e Comparação dos Modelos de Propagação

Com base nos parâmetros técnicos dos componentes do sistema, dados obtidos através das medições, e frequência de operação, é possível calcular o alcance máximo do enlace de comunicação. Para isso, foi desenvolvido um código no *software* MATLAB, que implementa os modelos de propagação em Espaço Livre e Dois Raios.

Os resultados das predições teóricas serão comparados com os dados de alcance obtidos nas medições de campo. Essa comparação permitirá validar a precisão de cada modelo e determinar qual deles oferece a melhor aproximação para as condições reais do

ambiente de propagação. O modelo que apresentar a menor discrepância em relação aos dados empíricos será considerado o mais adequado para a representação do canal de comunicação estudado. A figura 18 mostra a análise gráfica das perdas em cada modelo, especificamente para a distância utilizada na campanha de medição.

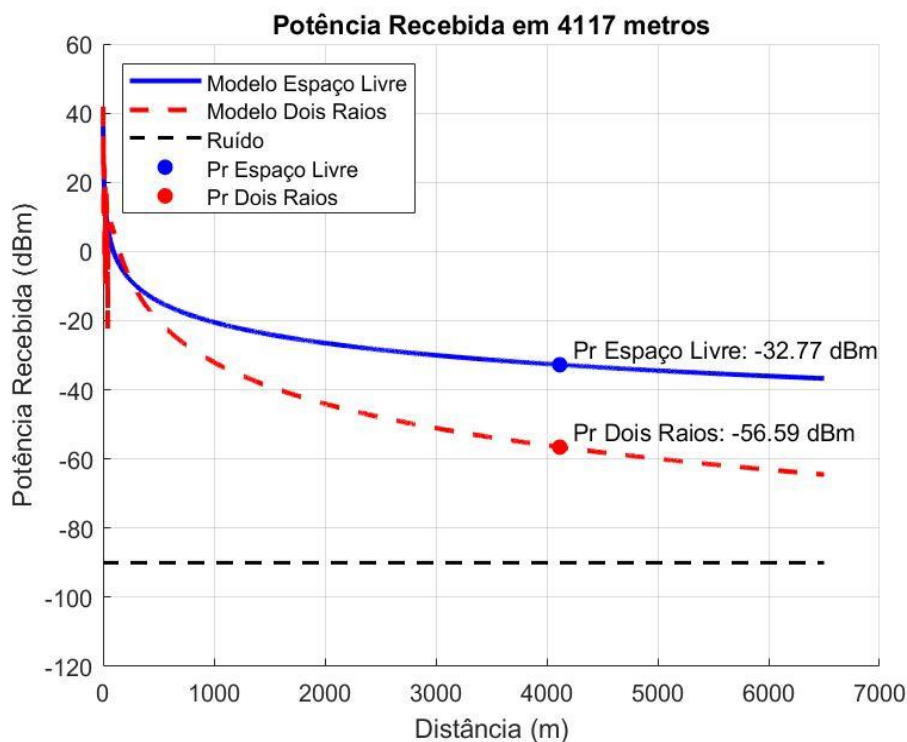
Figura 18 – Gráfico da Perda de Percurso em 4.117 metros.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A predição da PL foi realizada com base em uma distância de 4.117 metros. A aplicação do modelo de Dois Raios resultou em uma PL_{2r} de 112,44 dB, aplicando a equação 5. Com base neste valor, a potência recebida, de acordo com a equação 2, foi calculada como -56,59 dBm. De forma análoga, a aplicação da equação 4 do modelo de Espaço Livre resultou em uma FSPL de 88,62 dB. Este valor de perda corresponde a uma potência recebida de -32,77 dBm, de acordo com a equação 2. A figura 19 mostra os valores das potências recebidas de cada modelo para a distância de 4.117 metros.

Figura 19 – Gráfico da Potência Recebida em 4.117 metros.



Fonte: Elaborado pelo autor.

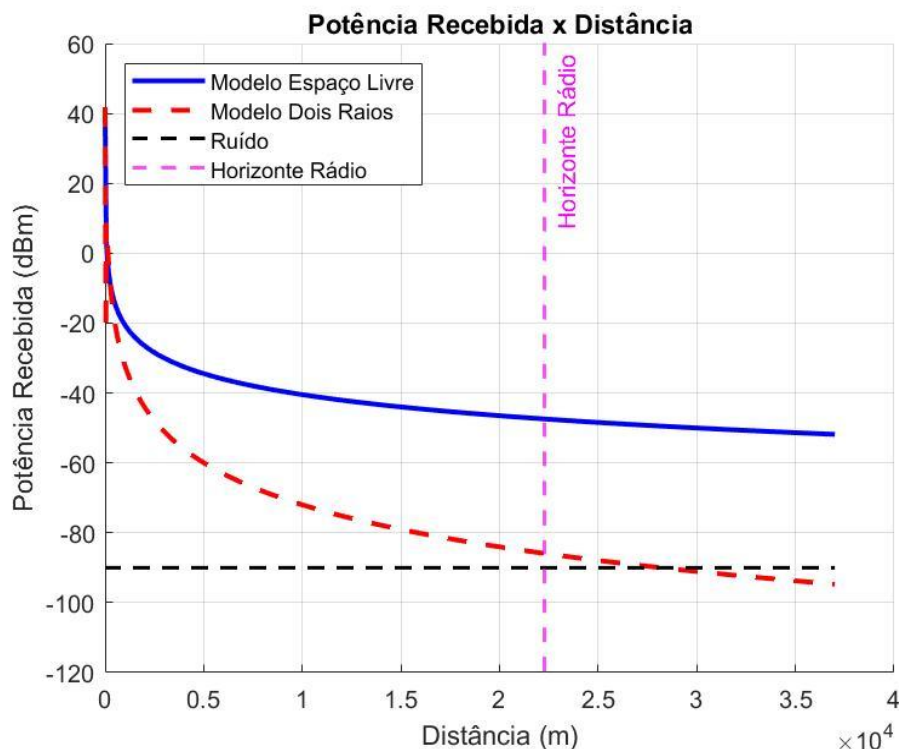
Uma comparação entre os valores preditos e os dados empíricos, que indicaram uma potência recebida entre -35 dBm e -30 dBm, revela que o modelo de Espaço Livre demonstrou maior precisão para as condições específicas desta campanha de medições. A pequena discrepância entre o valor teórico (-32,76 dBm) e o valor medido (-30 dBm) valida o modelo de Espaço Livre como uma aproximação mais adequada para a predição do alcance neste cenário.

Com o modelo de Espaço Livre validado para a predição de perdas de propagação para a campanha de medições, o próximo passo é a estimativa da potência recebida em função da distância. Para isso, o código no MATLAB foi modificado para simular a variação da potência recebida em um intervalo de 1 metro a 37.000 metros (aproximadamente 20 milhas náuticas).

À medida em que a distância aumenta, a potência do sinal recebido diminui. Nesse cenário, o alcance máximo do enlace de comunicação é limitado por dois fatores: a distância do horizonte rádio ou a potência do ruído ambiente. Considerando que o nível de ruído obtido nas medições (-90 dBm) foi significativamente superior à sensibilidade do receptor (-130 dBm), o ruído do ambiente se torna o principal fator limitante para a inteligibilidade do sinal e, consequentemente, para o alcance máximo do sistema.

Após a alteração do código, foi gerada a figura 20, que apresenta a variação da potência recebida com a distância para os modelos de Espaço Livre e Dois Raios, onde é possível identificar o fator limitante do alcance máximo do enlace de comunicação.

Figura 20 – Cálculo do alcance máximo de comunicações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da figura 20 pode-se verificar que, para o limite de distância aplicado para o gráfico, a curva de potência recebida para o modelo de Espaço Livre não intercepta a linha de nível de ruído ambiente. Isso indica que, para este modelo, a limitação do alcance não é causada pela degradação do sinal pelo ruído, mas sim pela distância do horizonte rádio. A distância do horizonte rádio depende das alturas das antenas, conforme demonstrado na equação 6. Comparando com o modelo de Dois Raios, o sinal no modelo de Espaço Livre permanece com uma potência superior ao ruído ao longo de toda a distância do horizonte, garantindo a inteligibilidade da comunicação.

Após determinado que a limitação do alcance é obtida por meio do horizonte rádio, é possível obter, a partir da equação 6 contida no código, o valor de 22.274 metros (aproximadamente 12 MN) de alcance máximo de comunicações utilizando um RTL-SDR V3 para fins de MAGE-COM.

4.3. Estimação de Áreas de Patrulha de USV

Pretende-se, neste tópico, apresentar possibilidades de utilização de USV nas áreas estratégicas de patrulha, conforme estabelecido na END, a fim de otimizar a eficiência das atividades de patrulhamento, e demonstrar a aplicabilidade operacional e estratégica do estudo realizado. A adoção dos USV visa ampliar a permanência em operações de patrulha e, quando dotados de equipamentos de MAGE-COM para frequências em VHF, viabilizar a detecção antecipada de comunicações hostis. Esse alerta prévio permite o acionamento oportuno de plataformas tripuladas equipadas com sistemas de armas, conferindo maior capacidade de resposta às ameaças identificadas.

O alcance de equipamentos com capacidade de interceptar comunicações hostis pode variar em função dos seus parâmetros técnicos. Conforme discutido no tópico anterior, a estimação das áreas de patrulha baseou-se diretamente nos resultados obtidos durante a campanha de medições conduzida na baía de Guanabara, na qual foi possível verificar a coerência entre os valores medidos e o modelo teórico de propagação no Espaço Livre, resultando em um alcance máximo de 12 MN, limitado pelo horizonte rádio.

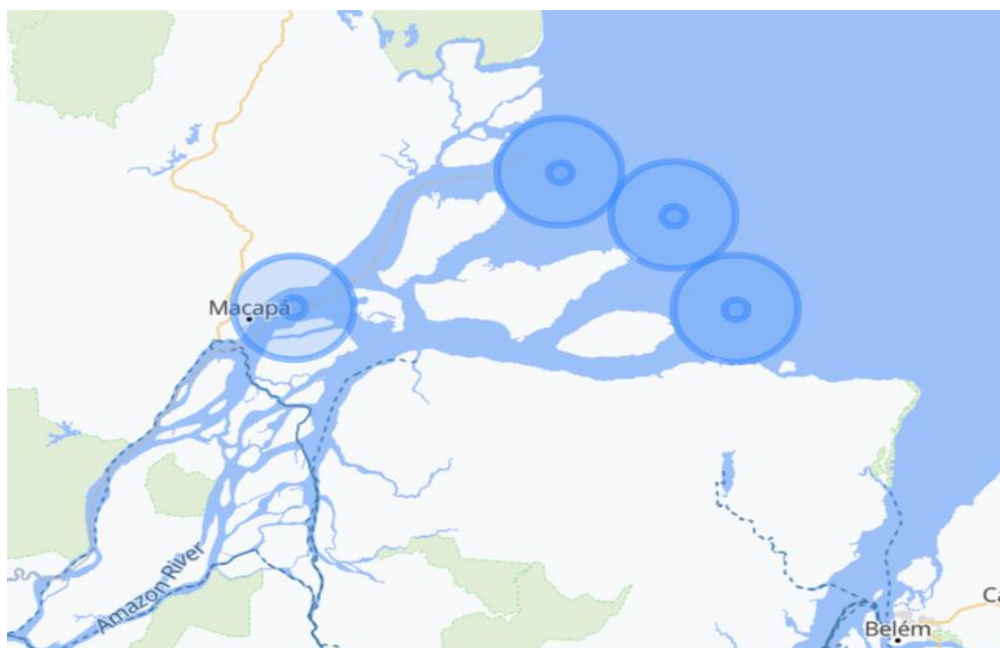
Dessa forma, os parâmetros obtidos experimentalmente serviram de suporte técnico-científico para subsidiar as propostas das áreas de patrulha dos USV, considerando cenários reais de operação, como a foz do rio Amazonas, o Porto de Santos e o Porto do Rio de Janeiro, conferindo credibilidade operacional à solução proposta. Entre as variáveis críticas para essa medição, destaca-se a altura das antenas de recepção e de transmissão, que podem variar em função das embarcações empregadas, impactando diretamente o alcance do horizonte rádio.

Considerando a altura da antena transmissora fixa em 13,5 metros, conforme previamente estabelecido, a altura da antena de recepção foi variada no código do MATLAB. Essa variação, entre 2 e 4 metros, teve como objetivo simular as possíveis alturas das plataformas dos USV, de acordo com o modelo empregado, e determinar o alcance máximo. Os alcances obtidos variaram de 11,32 MN, para a altura mínima, a 12,62 MN, para a altura máxima, resultando em uma média de aproximadamente 12 MN. Portanto, para a apresentação das propostas de áreas de patrulha, foram considerados círculos com raio de 12 MN para o monitoramento de frequências na faixa de VHF, de modo a representar de forma realista a cobertura operacional dos equipamentos empregados.

4.3.1. Foz do rio Amazonas

A foz do rio Amazonas é considerada uma área estratégica para a patrulha da Marinha do Brasil (Brasil, 2016). Neste contexto, os USV podem ser empregados para coibir ilicitudes, por meio do monitoramento de comunicações em faixas específicas de VHF. A figura 21 ilustra as áreas propostas para a implementação dos USV na região, as quais, se patrulhadas em conjunto, possibilitam a cobertura de todas as entradas do rio, conforme estabelecido pela END. As áreas de patrulha são representadas pelos círculos internos, concêntricos aos círculos que definem a área de cobertura, e possuem raio de 5 km. A utilização de três USV permite o monitoramento simultâneo das três áreas sugeridas, resultando em maior eficiência no patrulhamento e no controle das comunicações. Com o uso de antenas diretivas, a utilização de três USV pode proporcionar a estimativa da localização da fonte emissora, por meio da triangulação da direção do sinal recebido por cada USV.

Figura 21 – Possíveis áreas de patrulha na foz do rio Amazonas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

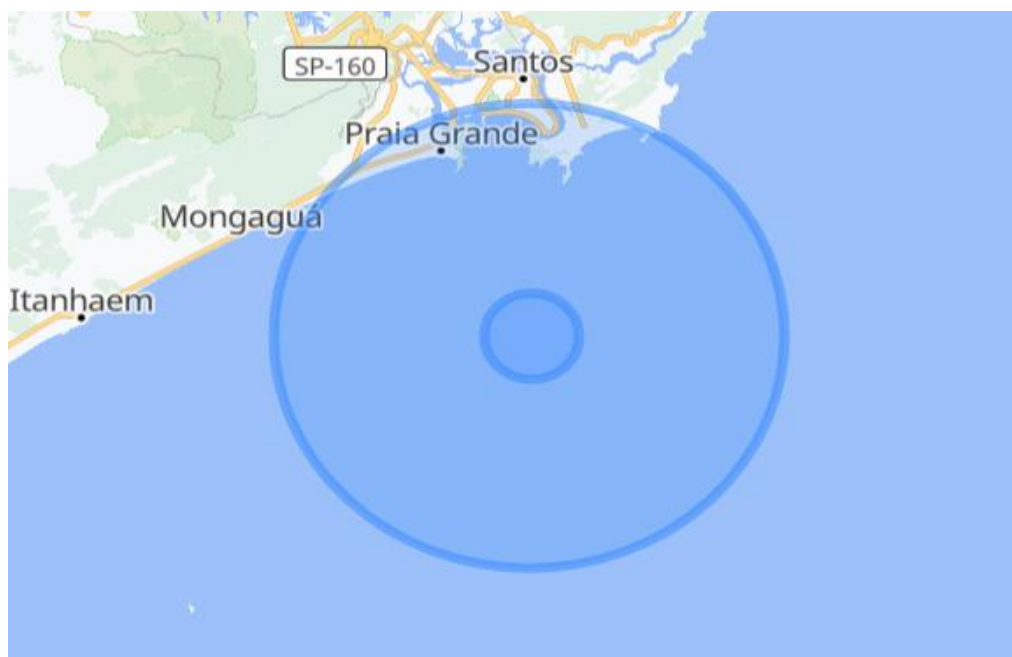
Adicionalmente, sugere-se a utilização de USV ao longo do rio Amazonas para intensificar o monitoramento em seu percurso. Conforme ilustrado na figura 21, o emprego desses veículos nas proximidades de Macapá, capital do estado do Amapá, permite o acompanhamento de comunicações de embarcações atracadas e de pessoal em portos e nas margens do rio. A grande largura do rio Amazonas próximo a essa cidade

serve como um exemplo da capacidade de monitoramento que se estende para além das embarcações em navegação, desde que haja linha de visada desobstruída.

4.3.2. Proximidades do Porto de Santos

Assim como a foz do rio Amazonas, as águas próximas ao porto de Santos, no estado de São Paulo, são de relevância estratégica para a Marinha do Brasil (Brasil, 2016). A figura 22 ilustra a localização sugerida para a implementação de USV na entrada desse porto, um dos mais movimentados do país. Similar à região anterior, a área de patrulha é representada pelo círculo interno, com 5 km de raio, que é concêntrico ao círculo que delimita a área de cobertura de comunicações.

Figura 22 – Possível área de patrulha no porto de Santos.



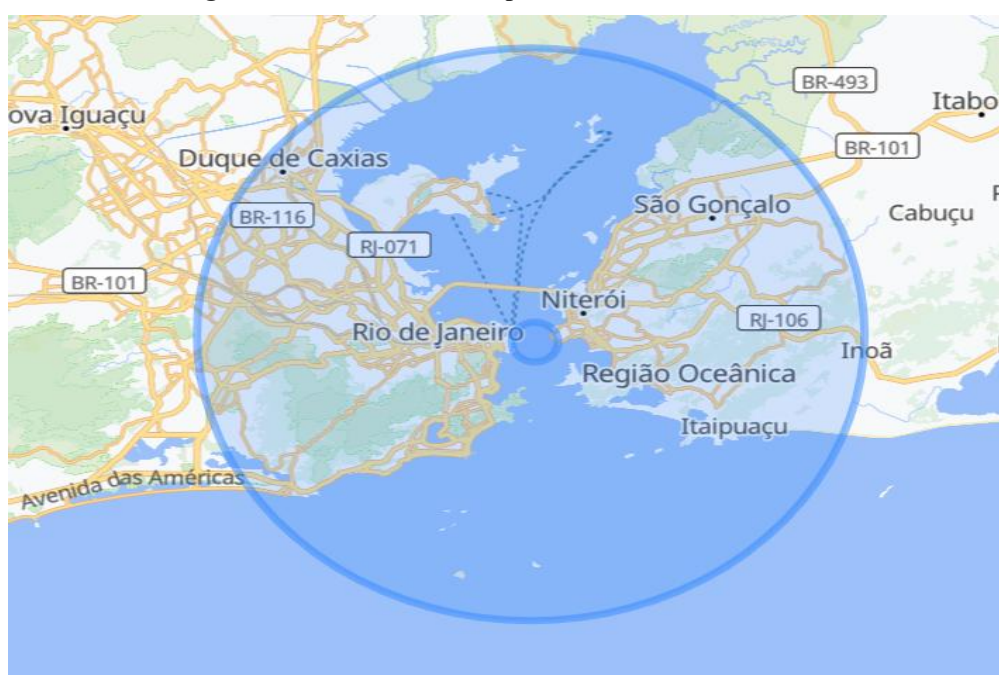
Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 22 ilustra a capacidade de um USV cobrir uma área extensa nas proximidades da baía de Santos, região caracterizada pela grande quantidade de navios mercantes fundeados. No entanto, a utilização do USV posicionado nessa área não permite um monitoramento eficiente do porto de Santos, pois não há visada direta devido ao relevo e às construções urbanas. Portanto, para monitorar o porto e as embarcações que navegam nas proximidades, é necessário também empregar um USV nas águas interiores de Santos.

4.3.3. Proximidades do Porto do Rio de Janeiro

A análise do porto do Rio de Janeiro é justificada por sua importância estratégica, visto que abriga a sede da Esquadra Brasileira. Esse fator torna a entrada da baía de Guanabara uma área crítica para a segurança dos Navios de Guerra da Marinha do Brasil. A figura 23 mostra a área de cobertura de um USV posicionado no interior da baía de Guanabara, entre o Aeroporto Santos Dumont, localizado no Rio de Janeiro, e a ilha de Boa Viagem, em Niterói. A localização sugerida para a utilização do USV é representada pelo círculo interno, que possui 1,3 km de raio.

Figura 23 – Possível área de patrulha na baía de Guanabara.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme ilustrado na figura 23, a posição do USV permite o monitoramento de praticamente toda a área das águas interiores, incluindo navios atracados no porto e embarcações fundeadas no interior da baía de Guanabara. Adicionalmente, é possível interceptar comunicações de embarcações que adentram a baía, o que garante um monitoramento abrangente. A cobertura sobre terra, no entanto, não será eficiente, pois a visada direta é comprometida pelo relevo e pelas estruturas urbanas.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho do RDS para sua aplicação como MAGE-COM em USV. Para isso, foram realizadas medições na

baía de Guanabara, com o intuito compará-las com os modelos de propagação no Espaço Livre e Dois Raios e, após verificação do modelo mais apropriado, sugerir áreas de aplicação de USV para operações de patrulha marítima.

A pesquisa de campo revelou que, nas condições de medição, a potência média do sinal recebido foi próxima à potência teórica calculada para o modelo no Espaço Livre, o qual foi escolhido para realização dos cálculos de predição de alcance. Por meio do uso do *software* MATLAB, foram gerados códigos para visualização das perdas de propagação para cada modelo e os seus respectivos alcances, sendo obtido o valor de 12 MN de alcance, limitado pelo horizonte rádio. Os resultados das medições confirmam que mesmo um equipamento de baixo custo, como o RTL-SDR V3, é capaz de detectar comunicações hostis dentro do raio de cobertura definido, demonstrando a viabilidade técnica e operacional da proposta.

Apesar de não terem sido feitas a bordo de um USV, os valores de altura das antenas de recepção foram alterados nos códigos, a fim de abranger diferentes alturas de plataformas de USV. Além disso, buscou-se alternativas de representar de forma exequível a propagação em ambiente marítimo, tendo em vista que as estações envolvidas no enlace de comunicações se encontravam separadas fisicamente pela baía de Guanabara.

A partir da análise dos resultados, a pesquisa reforça a relevância prática da utilização de USV equipados com RDS para fins de Defesa, alinhando-se à END e à PMN. A END destaca que é essencial que o Poder Naval possua meios com recursos de detecção, identificação e neutralização de ameaças nas AJB, além de estabelecer as áreas de importância estratégica abordadas. A PMN, além de abordar a importância da defesa da soberania e a garantia da segurança nacional no mar, também estimula a pesquisa científica e tecnológica e a inovação.

O uso de USV para patrulhamento, conforme sugerido pelo estudo, poderia aumentar a eficiência e reduzir os custos operacionais, permitindo maior autonomia e permanência no local de patrulha, comparado aos meios tripulados. Já a aplicação dos RDS, representado pelo RTL-SDR V3, devido ao seu baixo custo e flexibilidade, pode ser uma solução economicamente viável para coletar informações de comunicações, auxiliando na segurança de portos e na detecção de atividades ilícitas. Dessa forma, a pesquisa buscou contribuir para o debate sobre o patrulhamento de áreas sensíveis da Amazônia Azul sem a necessidade da utilização inicial de meios navais tripulados, por meio da aplicação de tecnologias e recursos ainda pouco exploradas no cenário nacional.

5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Trabalhos futuros podem empregar equipamentos mais robustos, como RDS avançados e antenas de maior desempenho. O uso de antenas direcionais, em particular, possibilitaria identificar a direção da fonte emissora, recurso essencial para a localização de sinais de interesse e o aprimoramento da consciência situacional em operações de patrulhamento marítimo.

Sugere-se, ainda, que trabalhos subsequentes aprofundem as medições em condições operacionais reais, como a bordo de navios ou USV, a fim de avaliar o comportamento desses sistemas embarcados. Adicionalmente, recomenda-se a utilização de outros modelos de propagação, com o objetivo de comparar os resultados obtidos e, assim, ampliar a base de dados para a seleção do modelo mais adequado.

Além das possibilidades abordadas, pode-se explorar o uso de técnicas de Inteligência Artificial para aprimorar a análise automatizada das comunicações interceptadas. Uma possível utilização envolve a implementação de modelos de classificação, que seriam capazes de distinguir transmissões “esperadas” e “não esperadas” com base na identificação de palavras-chave previamente definidas ou na detecção automática de idiomas diferentes do português. Essa aplicação permitiria maior eficiência na triagem de sinais, possibilitando respostas mais rápidas e precisas.

REFERÊNCIAS

ALTMAN, Howard. **Inside Ukraine's Fiber-Optic Drone War**. The War Zone, 28 mai. 2025. Disponível em: <https://www.twz.com/news-features/inside-ukraines-fiber-optic-drone-war>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ARTHUR, Gordon. **Singapore USVs begin uncrewed patrols in busy waterways**. Naval News, [S. l.], 7 fev. 2025. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval-news/2025/02/singapore-usvs-begin-uncrewed-patrols-in-busy-waterways/>. Acesso em: 19 set. 2025.

BAE, I.; HONG, J. **Survey on the developments of unmanned marine vehicles: Intelligence and cooperation**. Sensors, v. 23, n. 10, p. 4643, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/1424-8220/23/10/4643?type=check_updateversion%3D2. Acesso em: 23 ago. 2025.

BARBOSA, Breno Prazeres. **Redução de ruído em sinais acústicos de explosões através da aplicação do filtro de Wiener**. 2017. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017

BARROS, Letícia Garcia de. **O Rádio Definido por Software**. 2007. 55 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Eletricista) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BRASIL. Decreto nº 12.481, de 2 de junho de 2025. **Institui a Política Marítima Nacional**. Presidência da República: Brasília, DF. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/Decreto/D12481.htm . Acesso em: 03 ago. 2025.

BRASIL. **GE-101: Introdução à Guerra Eletrônica – Fundamentos**. 2ª ed. Niterói, RJ. Marinha do Brasil. Centro de Guerra Acústica e Eletrônica da Marinha, 2023a.

BRASIL. **GE-201: Medidas de Guerra Eletrônica - Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica**. 2ª ed. Niterói, RJ. Marinha do Brasil. Centro de Guerra Acústica e Eletrônica da Marinha, 2023b.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Glossário das Forças Armadas (MD35-G-01)**. 5. ed. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2015.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Estado Maior do Exército. **Manual de Campanha: Administração de Radiofrequências**. 2º ed. [S. l.], 2002.

BRASIL. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Ministério da Defesa. Brasília, DF. 2016. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/pnd_end_2016.pdf . Acesso em: 01 ago. 2025.

BURSZTEIN, Valéria. **EMGEPRON realiza pré-lançamento de embarcação autônoma na 15ª edição da LAAD**. LAAD Expo, 27 mar. 2025. Disponível em:

<https://laadexpo.com.br/defence/pt/emgepron-realiza-pre-lancamento-de-embarcacao-autonoma-na-15a-edicao-da-laad/>. Acesso em: 01 mai. 2025.

CAVALCANTE, Monalisa Alves. **Proposta de instrumento de verificação para operações de comunicação na navegação de arrais amador: segurança no mar em águas jurisdicionais brasileiras**. 2023. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Naval) - Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2023.

CHEETHAM, Joshua. **O que são drones marítimos, que trazem novo risco à Rússia na Guerra da Ucrânia**. BBC News Brasil, 05 ago. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cn0ze0j0r99o>. Acesso em: 15 jun. 2025.

CONDUTTI. **Cabo Coaxial 58B/U (RG58) 90%**. [S.l.]: Conduutti, [s.d.]. Especificação técnica. Disponível em: <https://condutti.com.br/produtos/cabo-coaxial-rg58-90/>. Acesso em: 01 set. 2025.

DONKERSLEY, John. **SDR++ User Guide**: for SDR up to version 1.1. [S.l.: s.n.]. 2022. Disponível em: <https://sdrpp.org>. Acesso em: 23 ago. 2025.

ERUNKULU, O. O. *et al.* Cellular Communications Coverage Prediction Techniques: A Survey and Comparison. **IEEE Access**, v. 8, p. 113052-113077, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9119431> . Acesso em: 10 ago. 2025.

EUROPEAN UNION. **European Secure Software defined Radio (ESSOR)**. 2018. Disponível em: <https://www.pesco.europa.eu/project/european-secure-software-defined-radio/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Exército recebe protótipos do projeto Rádio Definido por Software**. 2023. Disponível em: <https://www.eb.mil.br/web/noticias/w/exercito-recebe-prototipos-do-projeto-radio-definido-por-software>. Acesso em: 24 set. 2025.

FONSECA, A. C. P.; SILVA, M. V. O Batismo de Fogo dos Drones de Superfície: Uma Nova Arma na Guerra Naval. **Revista Passadico**, Rio de Janeiro, RJ, n. 43, p. 64-67, 2023. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/passadico/article/view/5280> . Acesso em: 20 abr. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HABIB, A.; MOH, S. **Wireless channel models for over-the-sea communication: A comparative study**. Applied Sciences, v. 9, n. 3, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/3/443> . Acesso em: 12 ago. 2025.

ICOM INC. **VHF Marine Transceiver IC-M304 Instruction Manual**. [S.l.]: Icom, [s.d.]. Manual de instrução. Disponível em: http://www2.icomcanada.com/products/marine/ic-m304/Marine_IC-M304%20Instruction%20Manual.pdf. Acesso em: 01 set. 2025.

JANSON, J. **Radio Definido por Software: Estudo e Realização de Teste com uma Plataforma Livre**. 2012. 60 f. Monografia (Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, São José, 2012.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LAUFER, Carl. **The Hobbyist's Guide to the RTL-SDR: Really Cheap Software Defined Radio**. [S.l.: s.n.], 2015. 583 p.

LOPES, Fábio Rogério Born. **Método de supressão espectral do sinal OFDM empregando banda de guarda com portadoras de cancelamento**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

MITOLA, Joseph. Software radios: Survey, critical evaluation and future directions. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v. 8, n. 4, p. 25-36, 2002. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/210638>. Acesso em: 04 mai. 2025.

NEGRI, Ana Paula Rosa. **Radiotransmissão - Tipos de Propagação**. São José, SC: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), 2019. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/4/43/Tipos_de_propagacao.pdf. Acesso em: 22 set. 2025.

NERI, Filippo. **Introduction to Electronic Defense Systems**. Boston: Artech House, 2018.

OTHMAN, E.H. A Review on Current Design of Unmanned Surface Vehicles (USVs). **Journal of Advanced Review on Scientific Research**, Malaysia. v. 16, n. 1, p. 12-17, 2015. Disponível em: https://www.akademiabaru.com/doc/ARSRV16_N1_P12_17.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

PADILHA, Luiz. **Emgepron e Tide Wise assinaram contrato para construção do USV Suppressor**. DEFESA AÉREA & NAVAL, 08 fev. 2024. Disponível em: <https://www.defesaaereanaival.com.br/naval/emgepron-e-tidewise-assinaram-contrato-para-construcao-do-usv-suppressor>. Acesso em: 24 set. 2025.

PLESSIS, Warren P.D. Electronic-Warfare Training Using Low-Cost Software-Defined Radio Platforms. In: **XV SIGE – Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa**, 2013, ITA, São José dos Campo, São Paulo. *Anais...* [S.l.: s.n.], 2013. p. 119-123.

POISEL, Richard A. **Introduction to Communication Electronic Warfare Systems**. Boston: Artech House, 2002.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless Communications: Principles and Practice**. 2º ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.

REIS, Andre Luiz Garcia *et al.* Introduction to the software-defined radio approach. **IEEE Latin America Transactions**, v. 10, n. 1, p. 1156-1161, 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6142453>. Acesso em: 13 mai. 2025.

ROWLEY, Jack. **Autonomous Unmanned Surface Vehicles (usv): A paradigm Shift for Harbor Security and Underwater Bathymetric Imaging**. In: OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston. IEEE, 2018. p. 1-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8604611>. Acesso em: 18 set. 2025.

SANTOS, Rafael Waghettii; BOTELHO, Tomás de Aquino Tinoco. O caminho da interoperabilidade tática nas Forças Armadas do Brasil: o MDLP-Defesa. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 143, n. 1, p. 198-208, jan./mar. 2023. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/revistamaritima/issue/view/562>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SAUNDERS, Simon R.; ZAVALA, Alejandro Aragón. **Antennas and propagation for wireless communication systems**. 2. ed. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2007.

SHAKESPEARE COMPANY. **Commercial Antennas**. [S.l.]: Shakespeare Company, LLC, 2015. Catálogo. Disponível em: <https://shakespeare-marine.com/wp-content/uploads/2021/09/Shakespeare-Commercial-Catalog-2015.pdf>. Acesso em: 01 set. 2025.

SILVA, Rodrigo Adão da. **Possibilidades e limitações do Projeto RDS-DEFESA no Sistema Tático de Comunicações de uma Divisão de Exército**. 2024. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Militares) – Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2024.

SILVA, S.C.C. O Emprego de Meios de Superfície Não Tripulados. **Revista Passadiço**, Rio de Janeiro, RJ, n. 40, p. 50-55, 2020. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/passadico/article/view/5280>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SILVA, Wendley S. *et al.* Introdução a rádios definidos por software com aplicações em GNU rádio. In: **Minicursos do XXXIII Simposio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuidos—SBRC**. Vitória, ES. 2015. p. 216-265.

STEELBRAS. **Antena Móvel Dual Band 3/8 VHF e 2x5/8 UHF AP0191**. [S.l.]: Steelbras, [s.d.]. Ficha técnica. Disponível em: <https://steelbras.com.br/produto/antena-movel-dual-band-vhf-3-8-uhf-2-5-8-onda/>. Acesso em: 01 set. 2025.

TREVISAN, Gabriel André de Melo. **Antenas Inteligentes**. 2021. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de São João da Boa Vista, São João da Boa Vista, 2021.

UNITED STATES OF AMERICA. Department of the Navy. **The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan**. Washington, D.C., 2007.